3/2012

MENTE y CEREBRO

Cuadernos

N.º 3 - 2012
6,90 €

investigacionyciencia.es

ILUSIONES

Cómo interpreta el cerebro los estímulos visuales

IMÁGENES AMBIGUAS
Distintas interpretaciones

EFECTOS ÓPTICOS
El secreto de los objetos imposibles

PARADOJAS VISUALES
El poder de la simetría

MOVIMIENTO
Franjas y contornos deslizantes

NEUROCIENCIA
Procesamiento cerebral de las imágenes

9 772253 959008 00003

Cuadernos MENTE y CEREBRO
ILUSIONES
Cuadernos MENTE y CEREBRO

3er CUATRIMESTRE 2012

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

MENTE y CEREBRO

Disponible en su quiosco el número de octubre

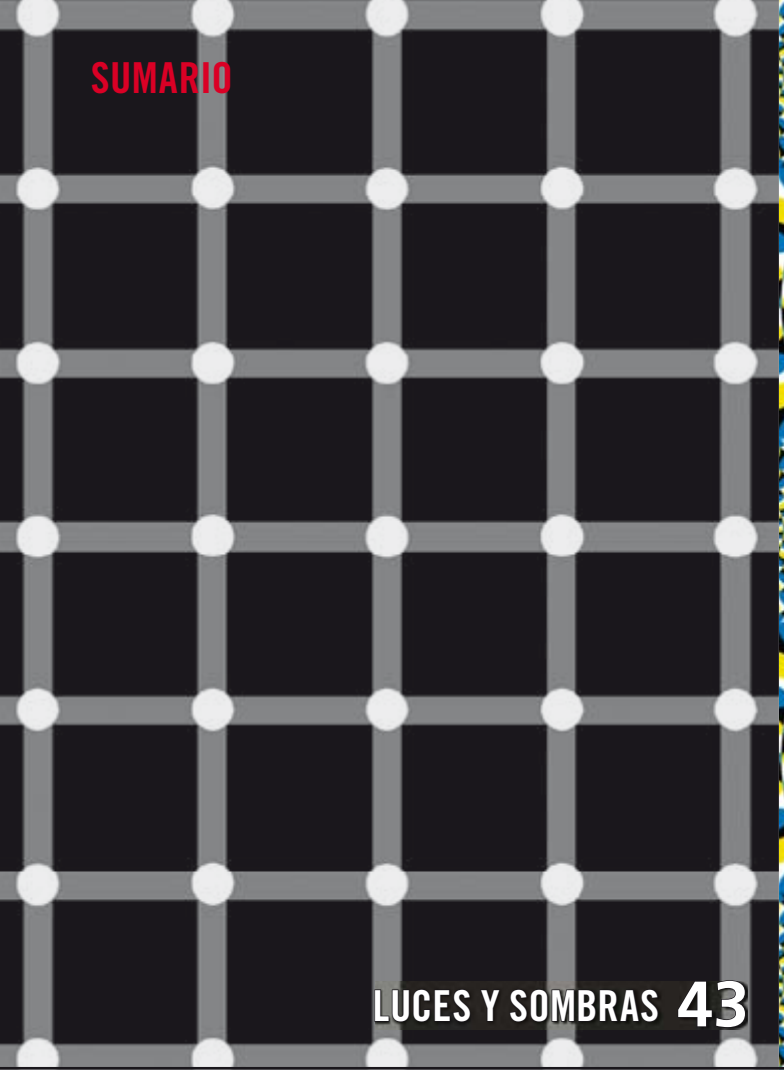
¡VISITE NUESTRA NUEVA WEB!

Suscríbase a la versión DIGITAL de nuestras publicaciones y acceda al contenido completo de todos los números (en pdf)*

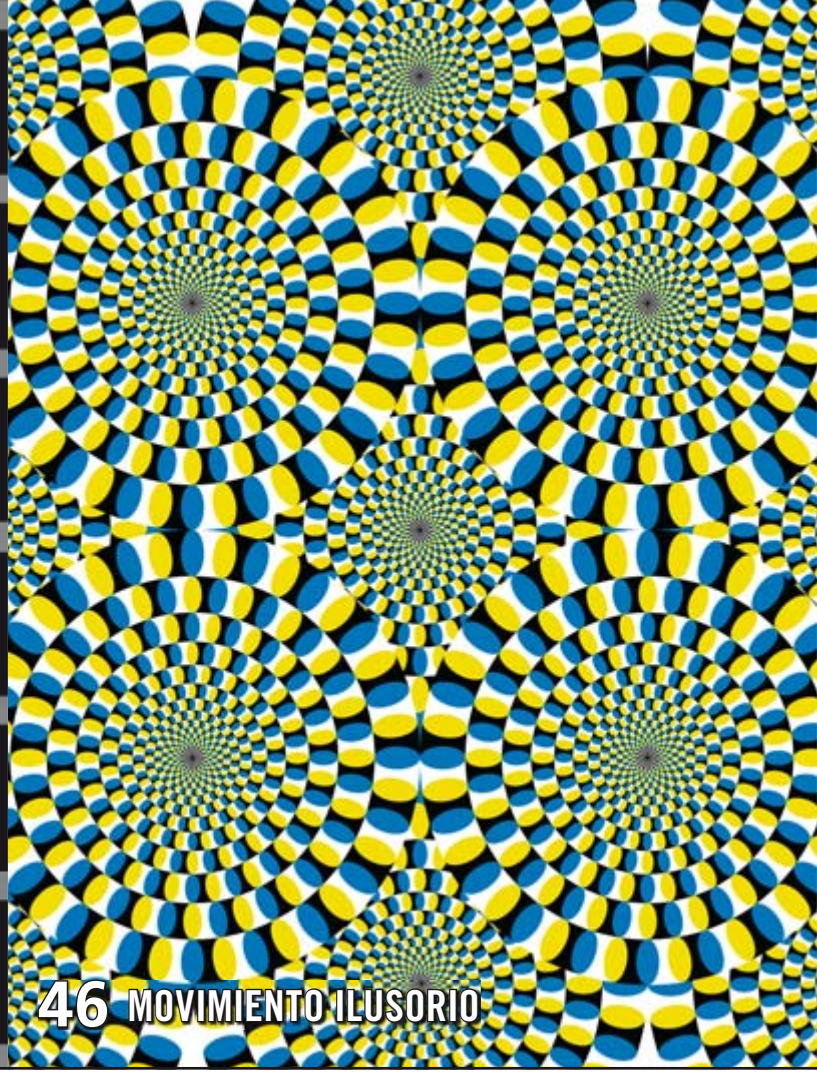
www.investigacionyciencia.es

* Ejemplares de IyC disponibles desde 1996 y el archivo completo de MyC, TEMAS y CUADERNOS

SUMARIO



LUCES Y SOMBRAS 43



46 MOVIMIENTO ILUSORIO

VISIÓN Y CEREBRO

4 ILUSIONES DE CONTRASTE

Jacques Ninio

El cerebro instaura fronteras arbitrarias en la percepción de la luminosidad. La yuxtaposición de tonos nos hace percibir fronteras ilusorias.

11 ¿CÓMO SE PUEDE ESTAR TAN CIEGO?

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Todos tenemos ojos en la cara, sin embargo, pasamos por alto cosas perfectamente visibles.

14 CONJETURAS CEREBRALES

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Lo mismo que la naturaleza, el cerebro detesta el vacío.

16 RIVALIDAD BINOCULAR

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Cada ojo envía al cerebro una información distinta. Cuando ambas imágenes retinianas divergen mucho, se producen fenómenos curiosos.

20 VISTO COMO UN TODO

Rainer Rosenzweig

El sistema perceptivo aporta significado al caos de estímulos que captamos. Ciertas reglas rigen dicho proceso.

25 LO ALTO, ARRIBA

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

La investigación sobre la percepción nos trae a primer plano la importancia de la postura erguida.

28 UNA EVIDENCIA TRANSPARENTE

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

De cómo resuelve el cerebro los problemas de percepción que plantean los cristales de color, las sombras y todo cuanto sea transparente.

32 VISIÓN EN BLANCO Y NEGRO

Alan Gilchrist

No es tan fácil la distinción tajante entre una y otra percepción.

40 VER ES CREER

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Póngase a prueba para aprender lo que las sombras nos revelan sobre el cerebro.

43 SOMBRAS HUIDIZAS EN LA ENCRUCIJADA

Rainer Rosenzweig

Hace tiempo que se resolvió la ilusión de la rejilla de Hermann, pero los psicólogos de la percepción se plantean de nuevo el enigma.

MOVIMIENTO Y AMBIGÜEDADES

46 ILUSIÓN DE MOVIMIENTO

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

De cómo los ojos pueden ver movimiento donde no existe.

49 FRANJAS DESLIZANTES

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Unos cuantos experimentos sencillos desentrañan los misterios de la ilusión del poste de barbería.

PARADOJAS VISUALES 58

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES 68

52 EL PODER DE LA SIMETRÍA

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

La preferencia del cerebro por la simetría influye en la percepción del movimiento.

55 AMBIGÜEDADES Y PERCEPCIÓN

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Lo que la incertidumbre nos enseña sobre el cerebro.

58 PERCEPCIONES PARADÓJICAS

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Organización cerebral de las imágenes contradictorias.

62 MESAS EN PERSPECTIVA

Rainer Rosenzweig

Necesitamos que el cerebro reconstruya la tercera dimensión. No obstante, el proceso puede llevar a errores.

64 ILUSIONES TÁCTILES

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

La predominancia visual puede crear confusiones táctiles.

EL OJO DEL ESPECTADOR

68 EN EL TALLER DE LAS IMÁGENES

Thomas Grüter

¿Cómo llegan los estímulos visuales a nuestra mente? El cerebro organiza al menos trece versiones de una misma imagen.

74 EL TAMAÑO DE LAS COSAS

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

El cerebro no solo recibe información sensorial; también la interpreta.

78 APARICIONES FANTASMAGÓRICAS

Rainer Rosenzweig

Las imágenes persistentes propician la visión de percepciones extrasensoriales.

82 NEUROLOGÍA DE LA BELLEZA

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Nuestro sentido de lo estético sigue leyes biológicas.

85 ILUSIONES ÓPTICAS Y CREACIÓN ARTÍSTICA

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

¿Qué tienen en común la Mona Lisa y el presidente Lincoln?

88 LA REALIDAD DE LOS CONTORNOS ILUSORIOS

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

¿Por qué parece más real un rectángulo imaginario que otro auténtico?

91 LEER ENTRE LÍNEAS

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran

Cuando un objeto queda en parte oculto, el cerebro crea un todo visual.

94 SOLO PARA SUS OJOS

Susana Martinez-Conde y Stephen L. Macknik

Las ilusiones con la mirada provocan atracción, pero también desasosiego.

Ilusiones de contraste

El cerebro instaura fronteras arbitrarias en la percepción de la luminosidad. La yuxtaposición de tonos nos hace percibir fronteras y diferencias de contrastes ilusorias

JACQUES NINIO

Agobiados por el sol, nos hemos refugiado en una estancia con los postigos cerrados. Adaptados al nuevo ambiente, nos sorprende la blancura de un jarrón de porcelana; cosa extraña, ya que recibimos menos luz que la que captaríamos al aire libre procedente de un tronco de árbol gris mate. En la estancia, percibimos la pantalla gris de un televisor apagado. Al encenderlo, en la película en blanco y negro que nos ofrece, nos impresionan la fuerte negrura de los trajes y el molesto reflejo de una luz realzada por una pared blanca. Sin embargo, la imagen está creada por emisión de luz; ninguna zona de la pantalla puede presentar lugares más oscuros que el gris inicial. Ocurre que la percepción ha sustituido el gris por el negro, retocando así la imagen para hacerla más inteligible.

Los dispositivos correctores de la percepción que hemos mencionado están muy experimentados. Por lo general no les prestamos mucha atención; para evidenciarlos hace falta una gran perspicacia. En algunas circunstancias, esos dispositivos se revelan cuando nos parece que la percepción nos induce a error (*a*). Nos creemos entonces víctimas de una ilusión visual. Ahora bien, para un científico especialista en percepción, la ilusión constituye un indicio revelador de los métodos que usa el cerebro para interpretar eficazmente los datos sensoriales: se trata de la excepción que nos descubre y nos permite entender la regla.

JACQUES NINIO

a. EFECTOS DE CONTRASTE EN TODOS LOS SENTIDOS
El rojo es el mismo en todas partes, como se comprueba en una banda horizontal al tapar las bandas contiguas. Ahora bien, de lejos, el rojo de la mitad derecha parece más oscuro que el de la mitad izquierda, incluido en las bandas centrales continuas. De cerca, las bandas poseen unos colores más homogéneos. A la derecha, el blanco parece más luminoso. A la izquierda, parece apagado y levemente teñido del color de las porciones de bandas adyacentes, rojo o azul según el caso.

Modelos y pruebas

Habida cuenta de los instrumentos teóricos hoy disponibles, resulta bastante fácil proponer modelos neuronales que expliquen las ilusiones de contraste. Sin embargo, esos modelos son de comprobación muy difícil. Las técnicas de formación de imágenes revelan algunas indicaciones sobre las áreas del cerebro responsables de alguna que otra ilusión, pero no descubren su organización interna.

Ciertos estudios tratan de modelizar los esquemas de conexiones de las neuronas y las señales que estas emiten, pero no suelen ser concluyentes. Aun así, la cosecha de los últimos años ha sido particularmente rica, sobre todo gracias al avance de la informática gráfica: sin mucha preparación, pueden crearse rápidamente y centenares de variantes de cada ilusión y seleccionar las más espectaculares. O dar con efectos inesperados. Examinemos ese mundo de las ilusiones de contraste, donde, sin saberlo, nuestra percepción nos impone un modo de evaluar los contrastes basado en valores relativos, en desviaciones respecto a una norma.

Una ilusión clásica

Hacia 1860, Ernst Mach (1838-1916) describió una ilusión que marcaba un giro decisivo en el estudio del cerebro. Ya se conocían algunas ilusiones de contraste: el efecto de luminancia según el cual lo blanco o lo claro se extiende a expensas de lo oscuro, los efectos de contraste simultáneo o los efectos consecutivos por estímulos muy intensos o muy prolongados.

En la ilusión de las bandas de Mach (*c*), una zona de un gris claro uniforme y una zona de un gris oscuro uniforme están separadas por una zona donde el nivel de gris aumenta gradualmente desde el nivel claro hacia el nivel sombrío. Ahora bien, en ambos bordes de esa zona intermedia se perciben dos zonas, que parecen resaltar las fronteras, una del lado de la zona clara, más clara que esta, la otra del lado de la zona oscura y que parece aún más oscura.

Esta ilusión es muy corriente. La observamos en todas las salas iluminadas, sobre todo si hay muchas fuentes de luz: la sombra proyectada por los objetos sobre las paredes o sobre otras superficies muy poco reflectoras aparece como resaltada por parejas de bandas claras y oscuras que son ilusorias. Acostumbrados a las leyes de la física, nos sentimos tentados a creer que esas bandas se deben a la difracción de la luz en los bordes de los objetos que crean la sombra. Para saber a qué atenernos, basta con tapar las inmediaciones de las bandas para darnos cuenta de que la ilusión desaparece. Sea como fuere, en la figura *c* la ilusión es indudable y Mach la había establecido de manera convincente mediante dispositivos de cilindros o discos rotatorios.

Tras describir el fenómeno, Mach le asignó una finalidad. Los objetos nos parecen dotados de unos bordes nítidos, bien precisos, pese a que a veces difieran poco de los objetos circundantes (una hoja de papel puesta al sesgo sobre otra hoja de papel de la misma blancura). La apreciación del contorno de los objetos y, a partir de ella, la apreciación de su forma es una de las funciones capitales de la percepción visual, que interviene desde el principio en la cadena de tratamiento de la información. «La retina, escribe Mach, borra las pequeñas diferencias y realza desproporcionadamente las mayores. Esquematiza y caricaturiza.» Así pues, las bandas ilusorias revelarían los procedimientos del cerebro para identificar el contorno de los objetos.

Mach propone un mecanismo neuronal subyacente: la inhibición lateral. Imaginemos una capa de neuronas fotosensibles de la retina, que transmitan al cerebro una señal cuya intensidad aumenta con la luz recibida. Supongamos que esas neuronas estén conectadas (de hecho, vía neuronas intermedias) lateralmente y que interactúan según dos reglas: (*1*) cuanta más luz recibe una neurona, más inhibe a sus vecinas, es decir, les obliga a emitir una señal menos fuerte; (*2*) cuanto más cercana esté una vecina, tanto más es inhibida. Bastan estas dos reglas para producir las bandas. El algoritmo de Mach se ha revelado fisiológicamente pertinente. Por añadidura, el principio se aplica a otras funciones sensoriales y, en teoría, podría emplearse en inmunología para detectar moléculas.

El trabajo de Mach resulta ejemplar, pues reúne todos los ingredientes que hoy podríamos pensar que forman una ilusión: descubrimiento de un fenómeno paradójico, localización de la ilusión en el entorno natural, construcción de un dispositivo convincente para demostrar la naturaleza ilusoria de la percepción, atribución de una finalidad fisiológica adecuada, proposición de un modelo neuronal capaz de generarla. Se han propuesto variantes lúdicas de esta ilusión (*d*).

Contornos subjetivos

La extracción de los contornos interviene también en otra clase de ilusiones descrita por Friedrich Schumann en 1905 y conocida en dos variantes principales, debidas una a Gaetano Kanizsa y la otra a Walter Ehrenstein (*e*). Al contrario que las bandas de Mach, los contornos subjetivos nacen en las zonas de fuerte contraste. Su propósito no es señalar las variaciones de luminosidad, sino dar cuenta de ciertas coincidencias geométricas. En situación natural, raramente un objeto o un animal se ven de modo completo. El animal puede estar parcialmente oculto por la vegetación, y a menudo de él solo vemos fragmentos; automática e inconscientemente ensamblamos esos fragmentos para deducir la presencia del animal y concebir su postura. Otro ejemplo: en una escena de interior, vemos numerosos objetos a diferentes distancias, con los más cercanos ocultando parcial-

WIKIMEDIA COMMONS / THE YORCK PROJECT / DOMINIO PÚBLICO

b. A MEDIA LUZ
Detalle del cuadro *La Madeleine à la veilleuse* (*Magdalena a media luz)* de Georges de la Tour (1593-1652). Este pintor francés del siglo XVII creaba ambientes donde las diferencias moderadas de luminancia provocaban una impresión de claridad intensa o de oscuridad profunda.

RESUMEN

La magia de los contornos

1 Los objetos nos parecen dotados de unos bordes nítidos, pese a que a veces difieran poco del entorno.

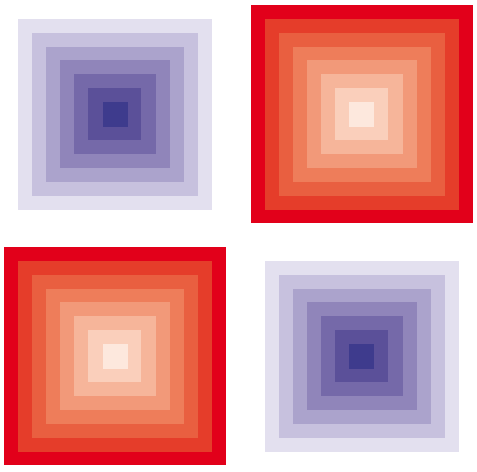
2 La apreciación del contorno de un objeto, y, a partir de allí, de su forma, constituye una de las funciones capitales de la percepción visual.

3 El físico y filósofo Ernst Mach (1838-1916) propuso un mecanismo neuronal subyacente a tal ilusión: la inhibición lateral.

c. BANDAS DE MACH

El triángulo superior derecho y el triángulo inferior izquierdo son de diferentes tonos de gris, aunque, en ambos casos, homogéneos. En la zona de unión, el nivel de gris es intermedio y varía continuamente de uno a otro. Sin embargo, la junción parece realzada por dos bandas ilusorias. Tales bandas desaparecen cuando se tapan los triángulos.

JACQUES NINIO



JACQUES NINIO

d. ARISTAS DE LAS PIRÁMIDES

De cerca, se ven cuadrados sucesivamente encajados, del mismo tono, pero cada vez más claros desde el centro hacia la periferia. De lejos, se perciben aristas ilusorias oscuras, según las diagonales de los cuadrados. Se consiguen aristas brillantes cuando el tono varía de claro a oscuro, al ir del centro a la periferia. Igual que en las bandas de Mach, una variación en el nivel de gris se interpreta como una frontera entre dos caras de la pirámide.

JACQUES NINIO

mente los más lejanos y así debemos imaginar el todo a partir de las partes. Otro problema de reconstitución: el fondo, sobre el que se halla un animal o un objeto, no es uniforme. El contraste varía en las fronteras. Al seguir el contorno, el objeto puede ser más claro que el fondo local en ciertos puntos del contorno, más oscuro en otros e indistinguible en otros.

A esa problemática de la reconstrucción mental de una forma geométrica a partir de informaciones fragmentarias, Kanizsa asoció dos conceptos: la «compleción modal», en virtud de la cual una superficie se percibe como si estuviera físicamente presente, y la «compleción amodal», por la que esa superficie solo se imagina (*e1 y e4*).

Esos fenómenos han suscitado estudios diversos. Por parte de la investigación neurofisiológica, Rudiger von der Heydt, de la Universidad Johns Hopkins, y sus colaboradores han descrito, entre los macacos, neuronas que detectan contornos subjetivos «a la Ehrenstein». Los modelizadores han teorizado, sobre todo, acerca de las variantes «a la Kanizsa». En particular, ¿cuál es la forma exacta de los contornos cuando no son rectos, y por qué?

De acuerdo con los ensayos realizados en mi laboratorio de la Escuela Normal Superior de París, los contornos convexos en figuras tales como el triángulo de Kanizsa curvilíneo (*e1*) se acercan bastante al arco de círculo tangente al borde de las aberturas de los gajos. En los modelos, pueden imaginarse contornos que se construyen progresivamente, por interpolación, o mecanismos de rellenado, como una burbuja que se inflase en el centro de la configuración y cuyo crecimiento se detuviera al topar con los obstáculos, e incluso

e. CONTORNOS SUBJETIVOS

Las aberturas de los gajos sugieren un triángulo de Kanizsa, en este caso curvilíneo (*1*). En los contornos subjetivos de tipo Ehrenstein (*2*), la elipse y la corona están definidas por las discontinuidades de las líneas del fondo. En *3*, las formas negras sugieren las letras del nombre *Gregory*; podrían ser las sombras de esa palabra. Los dos triángulos negros adosados al rectángulo blanco (*4*) los interpretamos como partes de un cuadrado negro orientado como el contiguo. El cuadrado negro imaginado parece menor que el entero, aunque son iguales. En *5*, una figura ideada por Peter Tse ilustra una superficie subjetiva tridimensional piramidal, sugerida por la conjunción de indicios (apoyos elípticos) y bases cuadradas.

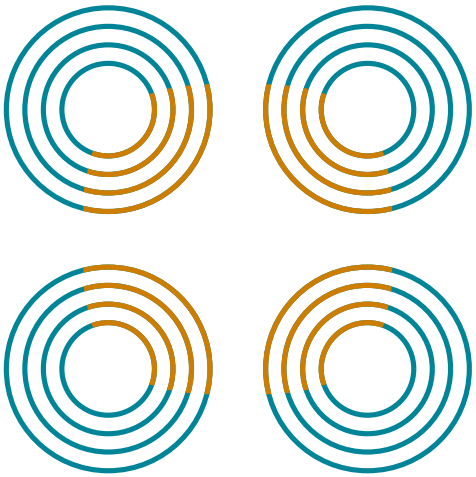
procesos del tipo de minimización de la energía. Entre quienes sostienen que todo ocurre a nivel local y quienes, por el contrario, privilegian un reconocimiento a nivel global, el debate es áspero. Los segundos esgrimen que las letras del nombre «Gregory» de la figura *e3* se perciben porque nos son familiares. Las formas negras se interpretan como sombras y, por tanto, solo definen por un lado el borde de las letras.

Entre los fenómenos que comportan consecuencias teóricas, se conocen variantes en que dos contornos subjetivos se perciben constituidos en una misma imagen; cuatro segmentos dispuestos en cruz, por ejemplo, sugieren contornos cuadrados o circulares. Se sabe que una superficie subjetiva sobre fondo gris puede ser codificada por elementos inductores blancos y negros cuyos efectos se suman: segmentos que se alternan blancos y negros radialmente dispuestos, sobre un fondo gris, definen un círculo subjetivo. Por último, una variante innovadora, propuesta por Peter Tse, de la Universidad Harvard, muestra una superficie donde se crea un efecto de volumen mediante elementos inductores que sugieren que esa superficie oculta en la misma medida que es ocultada (*figura e5*).

Dentro de la familia de los contornos subjetivos, Dario Varin, de la Universidad de Milán, describió en 1971 un efecto que debería interesar a los grafistas. Elementos inductores coloreados y contrastados crean contornos subjetivos en sus fronteras de color y una coloración ilusoria que se extiende sobre la superficie delimitada por los contornos (*f*). Hay colores que pueden, además, extenderse franqueando las líneas contrastadas (*h*), algo que sería imposible con superficies subjetivas de tipo Kanizsa, pues en ese caso la compleción sería amodal.

El problema recíproco

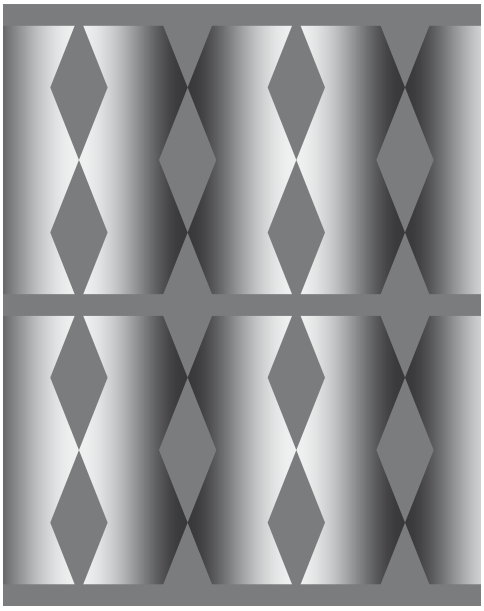
Volvamos a las bandas de Mach. El par de líneas, una clara y otra oscura, separa dos zonas de niveles de gris diferentes. A la recíproca, ese par es interpretado en el cerebro como indicio revelador de una diferencia de niveles de gris entre una y otra parte del par. Dicha interpretación es tal que, con esas signaturas, pueden crearse diferencias ilusorias de niveles de gris. El efecto fue establecido en los años setenta del pasado siglo por Tom Cornsweet, por entonces en el Instituto de Investigación de Stanford, mediante discos giratorios; es difícil conseguirlo sobre imágenes fijas artificiales. Cuando el motivo se repite y se usa una distribución en dientes de sierra, el efecto se acentúa (*g*).



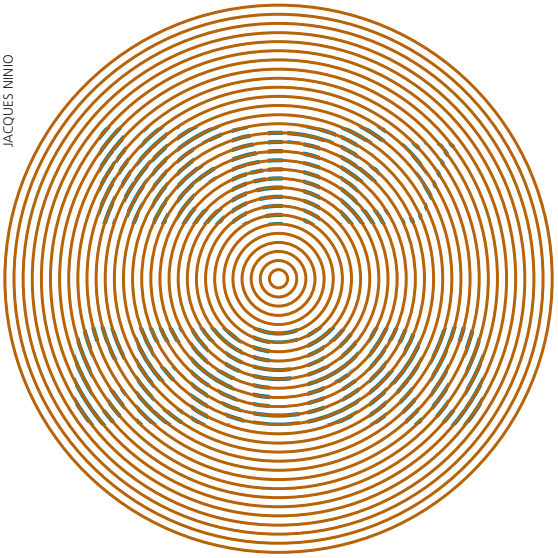
JACQUES NINIO

f. ILUSIÓN REDONDA
Efecto neón, descubierto por Dario Varin en 1971. Los cambios de color, del verde al rojo, en los círculos concéntricos, inducen una superficie subjetiva de tono salmón limitada por las fronteras de color. Tapando los círculos, se comprueba que la superficie constituye una ilusión.

g. EFECTO CONTRASTE
En este motivo, creado por Alexander Logvinenko, todos los rombos son del mismo gris, que es también el de la transversal horizontal. Compruébese, tapando, que la transversal central es de un gris uniforme, pues se trata del mismo que el de las hileras de rombos que cruza.



JACQUES NINIO



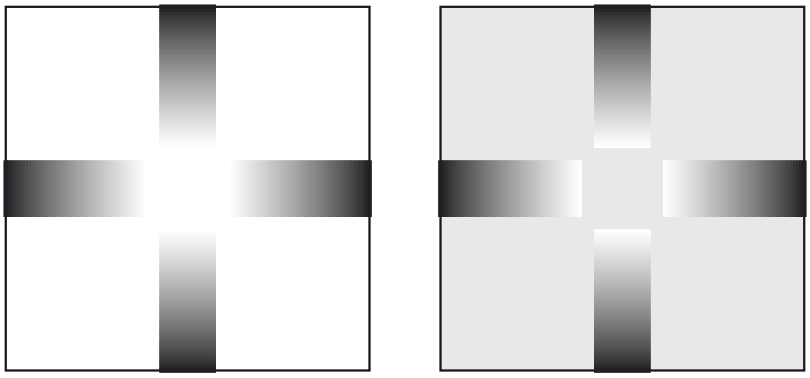
JACQUES NINIO

h. DIFUSIÓN COLOREADA
Pequeños círculos adosados a círculos rojos generan las letras de *Mente y cerebro*. Sin embargo, las letras presentan un aspecto continuo, como si el color azul se hubiera difundido en el seno de los círculos rojos.

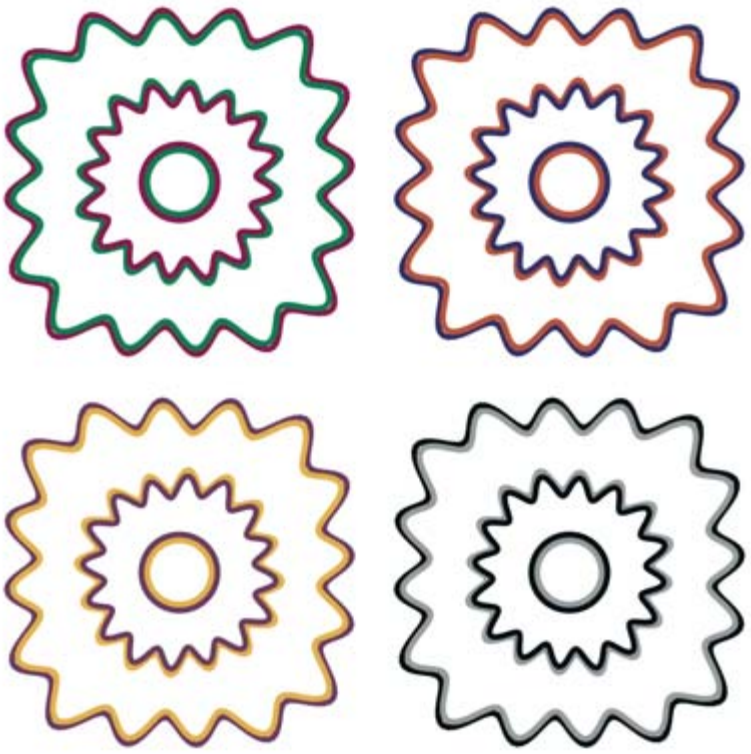
Los dispositivos de gradientes de luminancia se emplean para crear numerosos efectos de contraste. Uno de los más ingeniosos, el efecto de halo y humo, ha sido descubierto por Daniele Zavagno, de la Universidad de Padua (*i*). Aquí, quizá más que en otros casos, tiene lugar la confluencia con el arte de los pintores del claroscuro. Zavagno se interesa por los procedimientos de Georges de la Tour, que supo crear en sus cuadros fuertes diferencias de luminosidad aparente, entre rostros en primer plano, iluminados por una bujía, y personajes en segundo plano, y ello con sutiles gradaciones de la luz reflejada por el cuadro (*b*).

i. HALO Y HUMO
En las dos figuras hay cuatro rectángulos en los cuales el nivel de gris varía continuamente de un borde a otro. Los efectos de halo a la izquierda y de humo a la derecha, que se difunden desde el cuadrado central, son ilusorios.

DANIELE ZAVAGNO



j. EFECTO ACUARELA
Las coloraciones que parecen extenderse entre los dobles contornos festoneados son ilusorias. Este efecto de difusión coloreada, especialmente intenso, se traduce en numerosas variantes; no exige ni siquiera el cierre de los contornos.



BAINGIO PINNA

Por último, festoneando una pareja de líneas de colores contrastados, Biangio Pinna, de la Universidad de Sassari, ha obtenido el «efecto de acuarela» (*j*). La página parece bien coloreada en toda la porción limitada por el festoneado: cuesta creer que es tan blanca como el resto.

Manchas fantasmas

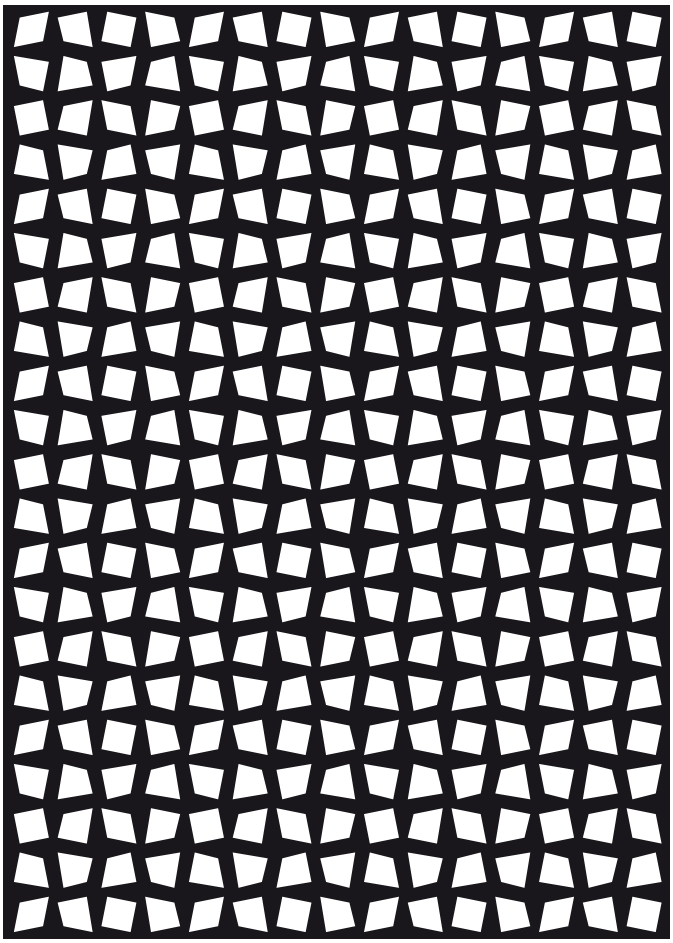
La rejilla de Hermann se numera entre los clásicos. Descubierta mediado el siglo XIX, suele presentarse con cuadrados negros regularmente dispuestos, separados por líneas transversales blancas horizontales y verticales (*n*).

Fijando la vista en un cruce, este se ve blanco, cosa normal, y en el centro de los cruces situados en la periferia se ven aparecer manchas grises. Este fenómeno pone de manifiesto un mecanismo de corrección del contraste local del nivel de gris (en el sentido de los ejemplos expuestos al comienzo). El nivel de gris atribuido (percibido) en un punto de una transversal blanca dependería de la proporción de negro presente en las cercanías. En torno a un cruce hay relativamente menos negro que entre dos cruces. Es como si, en la periferia, no distinguiéramos bien entre un exceso de blancura, debido a la superficie misma (brillo), y un exceso, debido a una intensa iluminación local (luminancia). Reteniendo, falto de información, la segunda hipótesis, el cerebro corregiría introduciendo gris en la zona más blanca.

Hallada una explicación funcional razonable, aunque no demostrada, no ha tardado en proponerse un modelo neuronal detallado de corrección del nivel de gris local, este también de comprobación difícil.

La rejilla de Hermann se ha desarrollado principalmente en lo referente a la fenomenología. Funcionan numerosas variantes: pueden cambiarse el tamaño de los cuadrados, su espaciado, su nivel de gris; vaciarlos; comprimir la imagen en uno u otro sentido; deformarlos (por ejemplo, sustituir los cuadrados por paralelepípedos); modificar, pero no mucho, la orientación de las transversales; poner estas no paralelas. Presentes las manchas grises, estas no son siempre circulares (pueden convertirse en rombos o en agujas finas). En cambio, la ilusión se destruye si cambiamos los cuadrados por triángulos o por hexágonos. Lo realmente esencial para que se produzca la ilusión es la presencia de un cruce de dos brazos largos. Debe haber realmente un cruce y no un codo ni un empalme en «T».

Una observación minuciosa de la rejilla de Hermann y de algunas variantes provoca la aparición de fenómenos nuevos, poco espectaculares. Sin-



JACQUES NINIO

k. LINEAS FUGITIVAS

Dos familias de líneas fugitivas claras parecen pulsar a 30 y 120 grados respecto a la horizontal. El fenómeno tendría conexión con las estrategias de búsqueda de alineaciones. Por deformación de los cuadrados de una rejilla de Hermann, se debilitan las alineaciones horizontales, verticales y a 45 grados, lo que da lugar a la búsqueda de alineaciones según otras orientaciones (aquí, las del «movimiento del caballo en un tablero de ajedrez»). Intercambiando el blanco y el negro, se obtienen líneas pulsantes oscuras.

gularmente enriquecedores de la fenomenología, esos nuevos efectos imponen muy fuertes limitaciones a los ideadores de modelos (*k*).

Extinciones y centelleos

La ilusión enrejada de Hermann nos ha llevado a distinguir entre visión central y visión periférica. Allá donde se posa la vista, la imagen es captada con «alta resolución» por la fóvea. En la periferia de la retina, los fotorreceptores son menos densos; la captura se hace con menos resolución. Para estudiar los efectos de captura a diferentes resoluciones, resultaba tentador convertir progresivamente en más borrosa la susodicha rejilla. Así, el efecto ilusorio no solo se reforzaba, según lo previsto, sino que se modificaba también cualitativamente, transformándose en un espectacular efecto de centelleo (*l*).

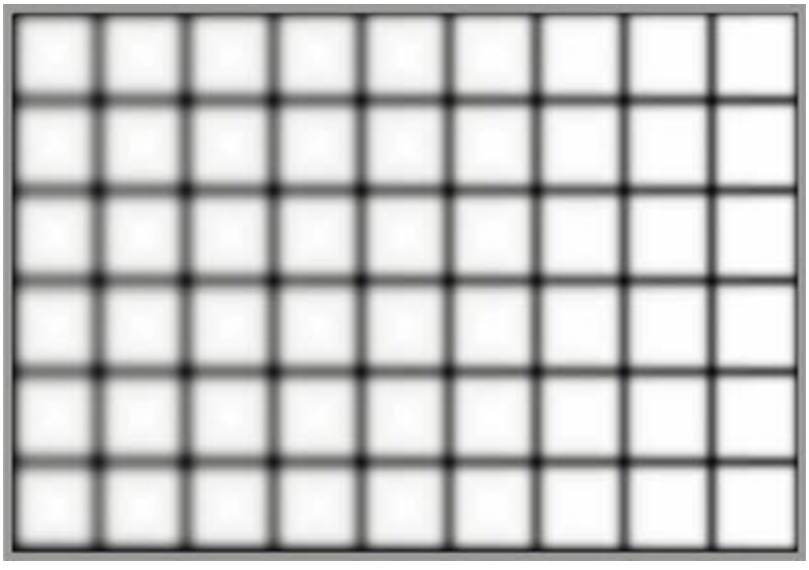
El centelleo resultaría de una alternancia rápida entre una interpretación a resolución alta, que diríamos gris, y una interpretación a resolución baja, que diríamos blanca. Tales alternancias resultan harto plausibles: conectando la retina con el cerebro, existen dos clases de neuronas: las magnocelulares, que son rápidas y actúan con poca resolución, y las parvocelulares, más lentas, que trabajan con una definición mejor.

Deformando los motivos de una rejilla de Hermann, el autor ha logrado poner de manifiesto un fenómeno de líneas fugitivas, pulsantes (*k*). Es un efecto menos fuerte que el de centelleo, pero presenta un reto teórico mayor. Indica que el cerebro sería sensible a sutiles regularidades geométricas de la figura: alineaciones apenas detectables de motivos blancos e intersticios negros, según en qué direcciones estén levemente alineados, parecen cooperar para producir esas líneas fugitivas. Las bandas de Mach introducían una partición simple de la imagen, ligada solo a las variaciones locales de niveles de gris. Aquí, las líneas pulsantes reflejarían correlaciones de largo alcance.

Al explorar las variantes de la rejilla de Hermann y de las rejillas centelleantes, el autor en colaboración con Kent Stevens, de la Universidad

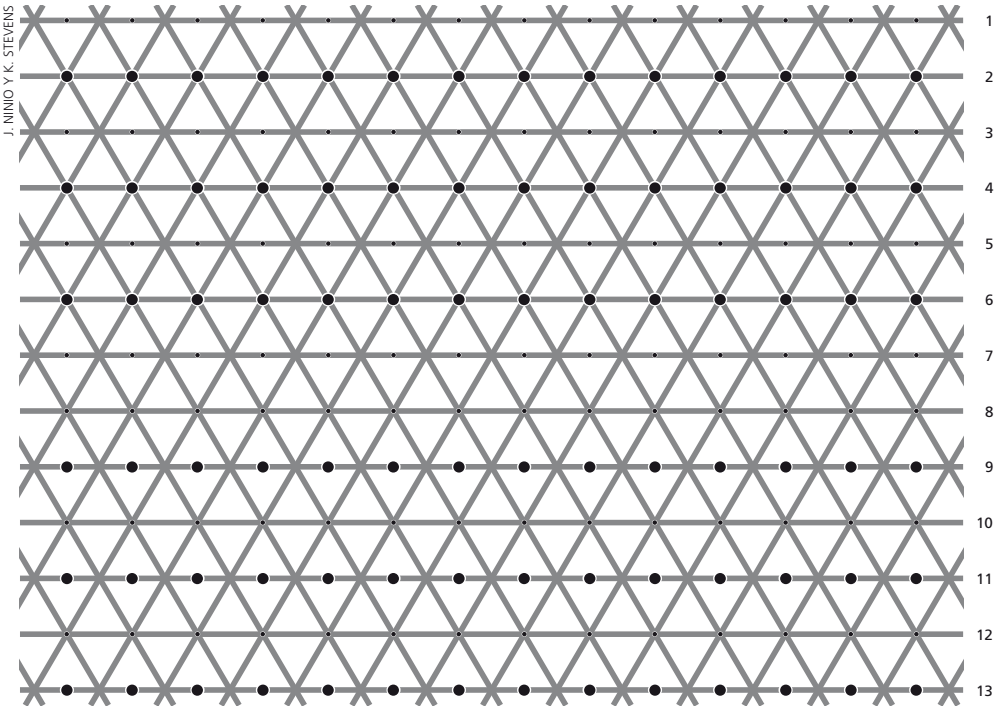
l. EFECTO DE CENTELLEO

Difuminando una rejilla de Hermann, Jacques Bergen ha observado un poderoso efecto de centelleo: en el cruce de las rayas grises, empiezan a centellear puntos brillantes. A veces difíciles de ver al principio, se los capta más fácilmente durante un salto de mirada de un punto a otro de la imagen. Después, el centelleo se instala en una porción de la imagen, allí donde el grado de borrosidad es máximo, lo que varía en función del individuo. Por último, con un poco de suerte, el conjunto de la rejilla se pondrá a centellear.

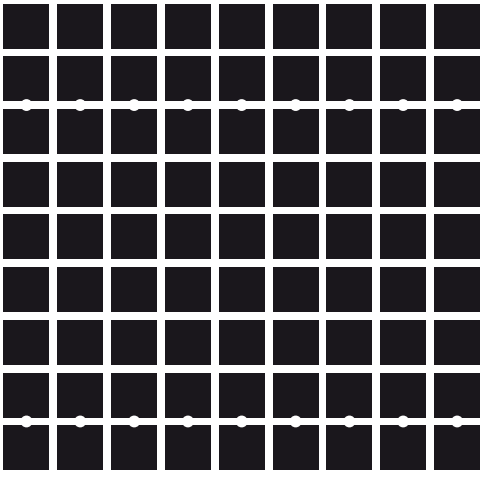


JACQUES NINIO

m. EFECTO DE EXTINCIÓN
Los discos grandes negros son perfectamente visibles en la mitad inferior de la figura. Pero en la mitad superior, solo algunos se perciben de una vez, en el lugar donde reposa la vista, pese a que en las líneas 2, 4 y 6 hay uno en cada cruce. La noción esencial, como en la rejilla de Hermann, es la de contraste local. Puesto que los discos negros se hallan rodeados de círculos blancos, en el caso de los discos grandes de la parte superior de la figura, el nivel medio de gris local es próximo al del entorno. En la periferia del campo visual debería rebasarse un umbral de contraste para que una señal llamara la atención.



n. REJILLA DE HERMANN
En los cruces de las rayas blancas aparecen manchas grises ilusorias, pero desaparecen allá donde se fija la vista. Cuando se gira la imagen 45 grados, al alejar la figura de la vista se ven aparecer redes de líneas oscuras, horizontales y verticales, que atraviesan los cuadrados según las diagonales. Se observará también que el blanco de las rayas parece menos claro que el del exterior de la imagen. En las dos rayas en que los cuadrados llevan muescas, se ven hilos grises en el centro de las rayas, que contrastan con el blanco de las muescas.



de Oregón, ha fabricado el efecto de «extinción», una nueva ilusión (*m*). Esta vez, tenemos un fenómeno de desaparición. Ocurre, nada menos, que la mayoría de los discos negros de las líneas 2, 4 y 6 de la figura no se ven de golpe, pese a su tamaño. Los discos donde se posa la mirada se ven bien, pero en la periferia se eliminan, y las transversales grises se completan. Estas aparecen continuas, al igual que las líneas que atraviesan la mancha ciega.

Solo podemos avanzar una explicación provisional del fenómeno: en la periferia, un disco, aunque sea de un tamaño suficiente para ser percibido por los fotorreceptores, puede que no llegue a la consciencia cuando el contraste local en niveles de gris se quede por debajo de cierto umbral. El contraste es más débil cuando los discos se hallan en los cruces de tres trazos grises (en las líneas 2, 4 y 6) que cuando los atraviesa un único trazo gris (en las líneas 9, 11 y 13).

Este pequeño viaje a las ilusiones, lejos de agotar el tema, nos brinda una idea del modo en que los análisis y las búsquedas se articulan en torno a esas imágenes: especialmente, la oposición entre global y local; la cooperación entre centro y periferia; la segregación o la cooperación entre regiones blancas y negras, y la difusión de los niveles de gris de los colores a partir de las fronteras.

Jacques Ninio, adscrito al Laboratorio de Física Estadística de la Escuela Normal Superior de París.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 7

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

GRAMMATICA DEL VEDERE. Gaetano Kanizsa. Il Mulino, Bolonia, 1980.

ANALYSE DER EMPFINDUNGEN. Ernst Mach, 1886. Traducido al español por Eduardo Ovejero: Análisis de las sensaciones, Altafulla, Barcelona, 1987.

LA SCIENCE DES ILLUSIONS. Jacques Ninio. Odile Jacob, París, 1998.

¿Cómo se puede estar tan ciego?

Todos tenemos ojos en la cara y sin embargo pasamos por alto cosas perfectamente visibles. Lo que no encaja en el esquema despista al cerebro

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Imagínese el lector en las gradas de una cancha de baloncesto durante el desarrollo de un partido. Se le ha asignado la tarea de contar el número de veces que cada jugador pasa el balón a otro durante 60 segundos. Necesita concentrarse porque el balón va demasiado deprisa. En ese momento, alguien disfrazado de gorila comienza a pasearse tranquilamente entre los asistentes. Camina entre los jugadores, se vuelve hacia los espectadores, se golpea el pecho y se marcha. Asombrosamente, tal y como Daniel J. Simons, de la Universidad de Illinois, y Christopher F. Chabris, de la Universidad Harvard, pudieron comprobar cuando realizaron ese estudio, el 50 por ciento del público no se percató de la presencia del gorila (*b*).

Damos por supuesto que nuestros ojos son como cámaras de vídeo que graban

a. DESCUBRA LAS DIFERENCIAS Si hay dos imágenes parecidas, el cerebro las supone idénticas. ¿Encuentra diferencias entre estas imágenes? De haberlas, haylas: los pies descalzos de la chica con falda y pantalón, las piernas de la mujer que se cubre con una cortina, la melena de la señora que empuja el perchero, el vestido a topos del perchero, el número de la claqueta, lo que lleva en las dos manos el chico con gafas y camiseta blanca.

EMILY HARRISON

cuanto ocurre a nuestro alrededor. Pero el experimento demuestra la poca información que captamos de un vistazo.

El experimento del gorila es la culminación de una larga serie de estudios interrelacionados sobre atención y visión que comenzaron un grupo de investigadores hace más de treinta años; entre ellos, Ulric Neisser, de la Universidad de Cornell, Ronald A. Rensink, de la de Columbia Británica, Anne Treisman, de la de Princeton, Harold Pashler, de la Universidad de California en San Diego, y Donald M. MacKay, de la de Keele.

Información eliminada

Los investigadores se refieren al efecto gorila como a una «ceguera de falta de atención» o una «ceguera de cambio» que, a su vez, forma parte de un principio más general que opera en el sistema visual. Nuestro cerebro se esfuerza de continuo por construir narraciones con significado a partir de lo que vemos. Lo que no encaja exactamente en el guión, o lo que no tiene relación con la tarea específica que ocupa nuestro interés, se borra de la conciencia. (No se ha investigado todavía si procesamos de forma inconsciente esta información eliminada.)

Un sencillo ejemplo de cómo la narración que está creándose en el cerebro puede interferir en la percepción es el juego de niños «descubre las diferencias». Las dos imágenes son lo suficientemente parecidas como para que el cerebro suponga que deben ser idénticas; identificar las disparidades lleva unos minutos de minuciosa observación.

La importancia de poseer una «historia» cerebral subyacente se ve claramente cuando uno considera cuán caótica puede ser la información sensorial. Al examinar nuestro entorno inmediato, la imagen salta sin solución de continuidad en la retina cada vez que las diferentes partes de la escena excitan distintas áreas de la retina. Aun así, el mundo nos parece estable.

Los investigadores creían que la sensación de captar imágenes no fragmentadas se debía a que el cerebro enviaba desde los lóbulos frontales una copia de las señales de la orden del movimiento del ojo a los centros visuales. Se creía que las áreas visuales recibían con antelación el «chivatazo» de que el movimiento de los ojos y no el movimiento del mundo exterior era el causante de la imagen cambiante en la retina.

Sin embargo, el lector puede comprobar por sí mismo en casa un efecto que demuestra que esa no puede ser la única razón. (El efecto en cuestión lo observaron, por separado, Jonathan Miller y uno de nosotros [Ramachandran] a principios de los años noventa.) Coloque el televisor boca abajo. Mejor aún, utilizando un prisma, dé la vuelta a la imagen del aparato ópticamente. Otra posibilidad es quitar el volumen y colocarse a un lado del monitor, mirando la pantalla con una visión periférica. Sintonice cualquier canal y observe lo que ocurre. Notará cambios repentinos discordantes y sacudidas visuales. Después vea el programa poniendo el televisor en la posición correcta y a un volumen normal. Ahora, la sucesión de cortes y panorámicas de la cámara fluye con facilidad y a la perfección, de hecho,

CORTESÍA DE DANIEL SIMONS, DE SIMONS, CHABRIS EN *PERCEPTION*, VOL. 28, PÁGS. 1059-1074, 1999

b. ESCENA CON SORPRESA

Se comprobó que si se pide a los sujetos que cuenten el número de veces que un grupo de personas se ha pasado la pelota. La concentración para el recuento impide a un 50 por ciento de los probandos ver la presencia esporádica de un gorila.

ni siquiera las nota. Incluso cuando cambia la escena al pasar, por ejemplo, de un busto parlante a otro que le sucede, no vemos una cabeza transformándose o metamorfoseándose cuando nuestra mente alterna entre los dos personajes. Antes bien, lo que percibimos es un cambio en su punto de observación.

¿Qué está ocurriendo? Cuando el televisor se encuentra en la posición correcta y oímos el sonido, el cerebro construye una narración verosímil. Los cortes y panorámicas y otros cambios sencillamente los ignora, por irrelevantes, aunque sean materialmente burdos. En contraste, cuando la escena está boca abajo o se tiene una visión periférica y sin sonido, es difícil que el cerebro encuentre sentido a lo que los centros visuales perciben; por ello, comenzamos a notar los grandes cambios en la imagen física. Este efecto no solo se produce viendo escenas en aparato de televisión, sino también en todas las experiencias de la vida; la unidad y coherencia de la conciencia es una ficción interna y conveniente.

Tampoco es necesario que la escena sea compleja para que se produzca la ceguera de cambio. En 1992, Colin Blakemore y Ramachandran llevaron a cabo un experimento con los asistentes a un seminario que impartimos en el Instituto Salk de Estudios Biológicos. Primero presentamos una imagen que contenía tres figuras de color abstractas: un cuadrado rojo, un triángulo verde y un círculo azul. Mantuvimos esta imagen durante

PATTI NEMOTO

c. CAMBIO DESAPERCIBIDO

No es necesaria una escena compleja para que se produzca la ceguera de cambio. La mayoría de las personas no advierte que ha habido un cambio en las figuras geométricas que aparecen en las imágenes si se cambia de figura al pasar a la siguiente imagen.

dos segundos, después la reemplazamos por las mismas tres figuras ligeramente cambiadas de posición. La audiencia observó que las tres parecían parpadear o que un ligero problema técnico afectaba a la imagen. La gran sorpresa vino cuando después cambiamos una de las tres figuras —el círculo— por la de un cuadrado (*c*). La mayor parte del público ni lo advirtió, salvo que concurriera que alguien se hallara concentrado en ese objeto en particular. Experimentamos sobrecarga sensorial y ceguera de cambio incluso con tres sencillos objetos.

Por último, imagine el lector que está mirando fijamente una pequeña X roja y le mostramos a su izquierda una cruz. Todo lo que debe decirnos es si es más larga la línea horizontal o la vertical de la cruz. Se trata de una tarea que cualquiera puede hacer sin esfuerzo. Ahora introducimos subrepticiamente una palabra en la misma cruz durante el segundo en el que el lector está estimando las longitudes de la línea. Arien Mack e Irvin Rock, por entonces en la Nueva Escuela de Investigación Social y la Universidad de California, respectivamente, descubrieron que la gente no advertía la palabra.

Quizá se encuentre el lector leyendo este artículo en un café concurrido. ¿Se ha fijado si ha pasado algún gorila? Teniendo en cuenta el experimento de Simon, ¿cómo está tan seguro de que no ha pasado ninguno? La respuesta dependerá de lo interesante que le haya parecido el artículo y de cuánto haya captado su atención.

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 27

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

GORILLAS IN OUR MIDST: SUSTAINED INATTENTIONAL BLINDNESS FOR DYNAMIC EVENTS. Daniel J. Simons y Christopher F. Chabris en *Perception*, vol. 28, págs. 1059-1074, 1999.

INATTENTIONAL BLINDNESS. Arien Mack e Irvin Rock. M.I.T. Press, 2000.

COLABORADORES DE ESTE NÚMERO

Asesoramiento y traducción:

J. Vilardell: *Ilusiones de contraste*; Marián Beltrán: *¿Cómo se puede estar tan ciego?*; Luis Bou: *Conjeturas cerebrales, Rivalidad binocular, Lo alto, arriba, Una evidencia transparente, Ver es creer, Ilusión de movimiento, Franjas deslizantes, El poder de la simetría, Ambigüedades y percepción, Percepciones paradójicas, Ilusiones táctiles, El tamaño de las cosas, Ilusiones ópticas y creación artística, La realidad de los contornos ilusorios, Leer entre líneas*; Francesc Asensi: *Visto como un todo*; F. Fernández Gil: *Sombras huidizas en la encrucijada*; Mar Sanz Prevosti: *Mesas en perspectiva*; M.ª Luisa Vea Soriano: *En el taller de las imágenes*; Álex Santatala: *Apariciones fantasmagóricas*; Sixto J. Castro: *Neurología de la belleza*; Susana Martinez-Conde: *Solo para sus ojos*

Portada: © Dreamstime / Maksym Yemelyanov

Mente y cerebro

DIRECTORA GENERAL Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL Laia Torres Casas
EDICIONES Yvonne Buchholz
Anna Ferran Cabeza
Ernesto Lozano Tellechea
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero

Edita

Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Gehirn & Geist

CHEFREDAKTEUR: Carsten Könneker (verantwortlich)
ARTDIRECTOR: Karsten Kramarczik
REDACTIONSLEITER: Steve Ayan
REDAKTION: Katja Gaschler, Christiane Gelitz, Anna von Hopffgarten, Andreas Jahn (Online-Koordinator), Frank Schubert
FREIE MITARBEIT: Christoph Böhmert, Joachim Marschall
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg, Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann, Anke Lingg, Gabriela Rabe
REDAKTIONSASSISTENZ: Inga Merk
VERLAGSLEITER: Richard Zinken
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle, Thomas Bleck

Distribución

para España:

LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid) - Teléfono 916 657 158

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona - Tel. 934 143 344

Publicidad

Aptitud Comercial y Comunicación S. L.
Ortigosa, 14 - 08003 Barcelona
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243
publicidad@investigacionyciencia.es

Copyright © 2012 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg

Copyright © 2012 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

ISSN 2253-959X Dep. legal: B. 3021 – 2012

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. N-II, km 600 - 08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Conjeturas cerebrales

Lo mismo que la naturaleza, el cerebro detesta el vacío

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Nuestra percepción del mundo depende, en un grado asombroso, de la inteligente labor conjetural de nuestro cerebro. Una imagen blanca y ovalada que excite nuestra retina puede corresponder a un huevo, a un disco plano y perfectamente circular, pero inclinado, o a un número infinito de formas intermedias que creen con la mirada el ángulo debido. Aun así, nuestro cerebro «atina» instantáneamente con la solución correcta. Y lo hace mediante ciertas suposiciones inconscientes sobre los valores estadísticos del mundo natural. Algunas pueden sernos reveladas por las ilusiones ópticas.

La forma en que el cerebro se ocupa de vacíos inexplicables en la imagen retiniana —un proceso conocido por «relleno»— proporciona un ejemplo muy llamativo de este principio. Podemos demostrar tal efecto utilizando el punto ciego del ojo.

Examine la ilustración *a1*. Con el ojo derecho cerrado, mire al centro del cuadrito blanco inferior. Mantenga la hoja a unos 30 centímetros del rostro y luego, lentamente, acérquela o aléjela de usted. A cierta distancia, el disco azul de la izquierda desaparece: se ha proyectado sobre el punto ciego de su ojo izquierdo, una pequeña porción de retina conocida por disco óptico, que carece de receptores de luz (una imperfección debida a que el nervio óptico atraviesa la retina al salir del globo ocular).

Un físico de la época victoriana, Sir David Brewster, quedó sorprendido al comprobar que cuando el disco desaparece no se experimenta en su lugar una sombra oscura o un hueco. La región correspondiente al disco queda «rellena» por el color de fondo. Brewster atribuyó este proceso a Dios, el «divino artífice».

Ni siquiera una línea recta que atraviesa su punto ciego queda cortada en su parte central, como se puede comprobar repitiendo el ejercicio, aunque esta vez se ha de mirar al cuadrito blanco superior de *a1*. El segmento que falta de la línea aparece completo. Es como si el cerebro considerase sumamente improbable que dos líneas cortas pudieran estar situadas a ambos lados del punto ciego por un mero azar. Las células de los centros visuales se excitan igual que lo habrían hecho si la línea estuviera completa y, en consecuencia, vemos una línea continua. Podemos colorear los dos segmentos de diferente color, rojo y verde, y ver qué pasa. ¿Sigue quedando la línea completa?

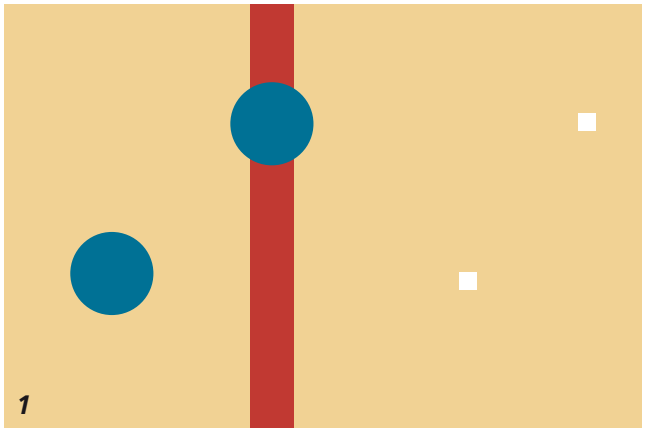
Decapitación visual

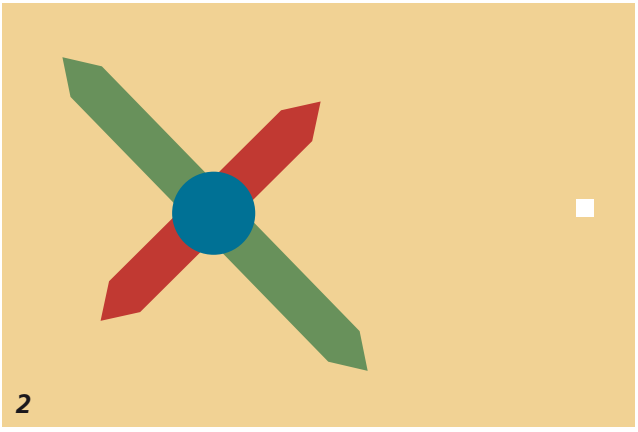
El punto ciego es sorprendentemente grande: si la retina fuese el firmamento, ocuparía nueve lunas llenas. Pruebe a cerrar el ojo izquierdo y pasar después la mirada, solo con el ojo derecho, por la habitación donde se encuentra. Con un poco de práctica debería lograr «apuntar» su punto ciego sobre cualquier objeto de poco tamaño y hacerlo desaparecer del campo visual. El rey Carlos II de Inglaterra tenía la costumbre de apuntar su punto ciego sobre la cabeza de los condenados para «decapitarlos» visualmente antes de su decapitación auténtica. A nosotros nos distrae hacer otro tanto con nuestros rivales en las juntas de departamento.

¿En qué grado es perfecto el proceso de relleno? Si el centro de una cruz cae

a. SE HA IDO

Si mira fijamente uno de los tres cuadraditos blancos con el ojo izquierdo, manteniendo el ojo derecho cerrado, y acerca lentamente la figura hacia sí, desaparece de pronto el punto azul más cercano situado a su izquierda y a la misma altura. Ha caído en el punto ciego de la retina.





TODAS LAS ILUSTRACIONES: JOHNNY JOHNSON / *GEHIRN & GEIST*

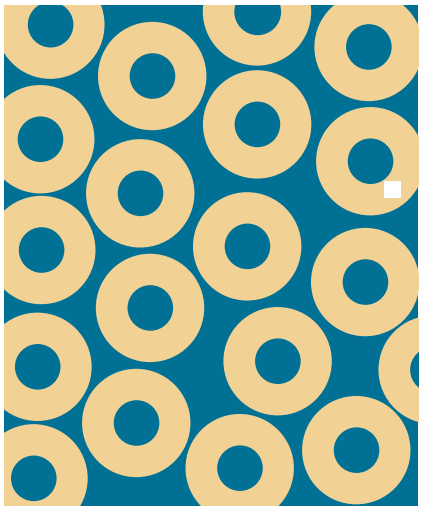
en el punto ciego, ¿será rellenado? ¿Y qué ocurre con los motivos repetitivos, como los del empapelado de las habitaciones? Con unos cuantos marcadores de fieltro de distintos colores y hojas de papel (o con un programa de grafismo para ordenador) pueden explorarse los límites del relleno y las «leyes» que gobiernan el proceso. Voy a describir aquí unos cuantos ejemplos.

En *a2*, su punto ciego cae sobre el centro de una X formada por una línea verde larga que corta perpendicularmente a otra roja, más corta. Observaremos que *solo* la más larga de las dos líneas atraviesa por completo el punto ciego. (Tampoco hay dificultad en rellenar la parte que falta de la línea corta, si es presentada aisladamente.) Este sencillo ejercicio pone de manifiesto que, en ciertas condiciones, el relleno se basa en integrar información obtenida de toda la extensión de la línea, y no de la información espacialmente adyacente.

En otras circunstancias, el cerebro se limita a rellenar con lo que aprecia en el entorno *inmediato* del punto ciego. Si orientamos el punto ciego de nuestro ojo izquierdo sobre el centro de una de las coronas circulares amarillas, no veremos un aro, sino un disco amarillo: el relleno es amarillo. Todavía más notable es que lo mismo ocurra en *b*: casi todo el mundo ve el disco amarillo resaltar sobre un fondo de empapelado de aros amarillos. En vez de extrapolar los motivos anulares repetitivos, nuestro sistema visual efectúa un cómputo local. Se limita a rellenar con el amarillo homogéneo situado inmediatamente en torno al disco.

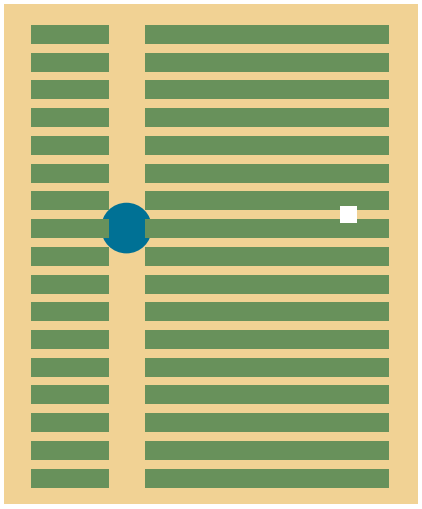
No siempre acontece así. Pasemos a *c*. Fijémonos en la franja vertical ilusoria que corre a través de las barras paralelas horizontales. Oriente el punto ciego de su ojo izquierdo sobre el disco azul, para hacerlo desaparecer. Ahora la cuestión es otra: ¿se produce el relleno del punto ciego con los tramos que faltan de las franjas horizontales que atraviesan el disco azul? ¿O lo hace con la franja vertical ilusoria? La respuesta depende del espaciado de las líneas.

¿Por qué razón se produce el relleno? Es improbable que el sistema visual haya adquirido evolutivamente esta capacidad con el exclusivo propósito de ocuparse del punto ciego (después de todo, el otro ojo se encarga de la compensación).



b. LUNA LLENA

En este experimento, nuestro sistema visual llena de amarillo el punto ciego, a pesar de que los patrones tienen en su centro un punto azul.



c. PREFERENCIA AL AMARILLO

En este caso, que el cerebro llegue a encubrir de color claro el punto ciego depende de que la distancia entre las barras verdes sea lo bastante pequeña.

Maniobras cerebrales

El relleno es probablemente una consecuencia de lo que se denomina «interpolación superficial», una capacidad adquirida en el curso de la evolución para la computación de las superficies y los contornos continuos que se dan en el mundo natural, incluso de aquellos que se encuentran a veces parcialmente ocultos (por ejemplo, un gato situado por detrás de una verja es visto como un gato completo, no como una serie de tajadas de gato). Leslie G. Ungerleider, del Instituto Nacional de Salud Mental, Ricardo Gattass, de la Universidad Federal de Río de Janeiro, y Charles D. Gilbert, de la Universidad Rockefeller, han empezado a explorar los mecanismos neuronales de este proceso; para ello supervisan la forma en que las neuronas de los centros visuales, una por una, responden a objetos parcialmente cubiertos por el punto ciego o por oclusores opacos.

Si el lector se cansa de jugar con su punto ciego natural, pruebe esto otro. Pegue hacia el lado derecho de la pantalla de su televisor un pedacito de cartulina blanca (de medio centímetro de diámetro) y marque un punto negro en su centro. Encienda después el aparato y sintonice un canal sin emisión, para que la pantalla solo presente ruido de «nieve». Adhiera un parche cuadrado de un par de centímetros de lado, de cartulina opaca gris (de color parecido al de la nieve de la pantalla) a unos 12 centímetros de la cartulina blanca. Sitúese a un metro de distancia.

Si abre los dos ojos y mira fijamente el punto negro durante unos 15 segundos, el cuadrado gris grande se esfumará por entero y la región que ha dejado «vacante» queda rellena de nieve... ¡estamos viendo nieve por alucinación, donde no había ninguna! Pero, más curioso todavía, si ahora miramos hacia una pared gris, percibiremos un recuadro cuadrado de puntos centelleantes en la región donde se había producido el relleno. Incluso un borrón rojo solitario visto contra un fondo moteado de manchas verdes acabará desapareciendo de igual manera: las manchas verdes la rellenan. El cerebro, según parece, detesta el vacío.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 28

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PERCEPTUAL FILLING IN OF ARTIFICIALLY INDUCED SCOTOMAS IN HUMAN VISION. V. S. Ramachandran y R. L. Gregory en *Nature*, vol. 350, págs. 699-702, 25 de abril de 1991.

Rivalidad binocular

Vemos espacialmente gracias a que cada ojo envía al cerebro una información distinta. Cuando ambas imágenes retinianas divergen mucho, se producen fenómenos curiosos

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

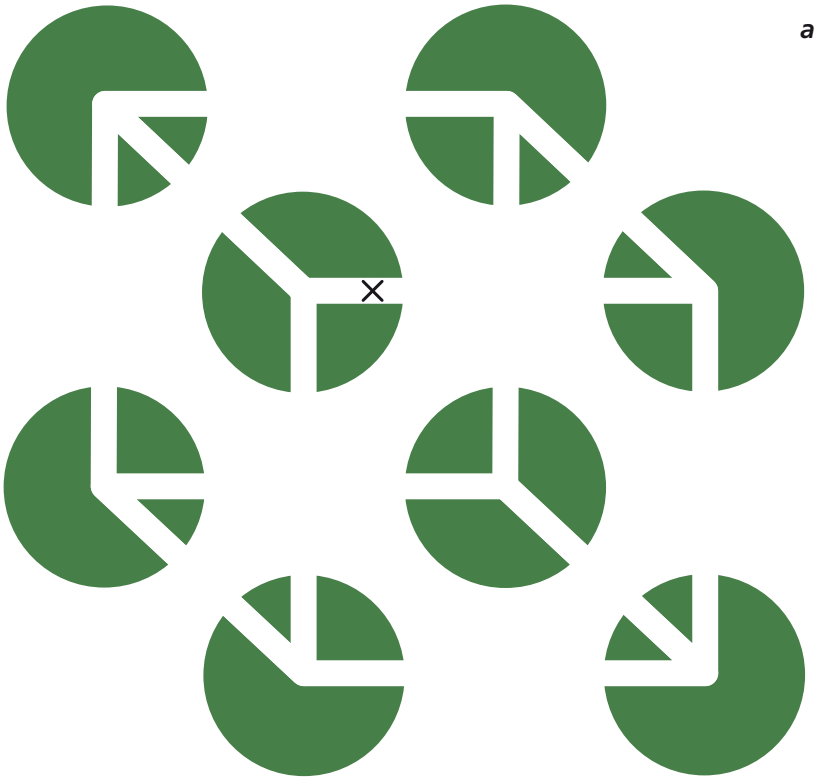
Miramos el mundo desde dos puntos de observación ligeramente diferentes, las posiciones de los dos ojos. Esta duplicidad de observatorios es responsable de sutiles diferencias entre las imágenes de cada uno de los dos ojos, discrepancias que son proporcionales a las profundidades relativas de los objetos del campo de visión. El cerebro está facultado para medir esas diferencias; al realizarlo, el resultado es la visión estereoscópica, o estereopsis.

Para hacernos una idea del efecto descrito, extendamos un brazo, apuntando con el dedo a un objeto lejano. Con el brazo extendido, guiñemos alternativamente los ojos y observaremos que el dedo cambia de posición con relación al objeto, hecho que ilustra la disparidad horizontal entre los ojos.

En las salas de estar de la Inglaterra victoriana solía haber unos artilugios de visionado que creaban la ilusión de profundidad en imágenes de escenas de la naturaleza, de monumentos arquitectónicos e incluso pornográficas. Todavía se dispone hoy de aparatos similares, como el dispositivo visualizador ViewMaster o las imágenes tridimensionales Magic Eyes, descendientes de aquellos estereoscopios.

La fusión cerebral

Hay un hecho sobre la visión estereoscópica que goza de menos difusión popular: aunque recibimos dos imágenes, una por cada ojo, percibimos nada más una sola imagen. Ocurre con el tacto algo parecido; si tocamos una naranja con ambas manos, percibimos solo una naranja, no dos. En consecuencia, las imágenes de ambos ojos han de fundirse en algún lugar del cerebro para dar origen a un único elemento de percepción, o «percepto». Pero cabe preguntarse, ¿qué ocurrirá si los ojos miran objetos muy disímiles? ¿Percibiremos una mezcla de ambos?



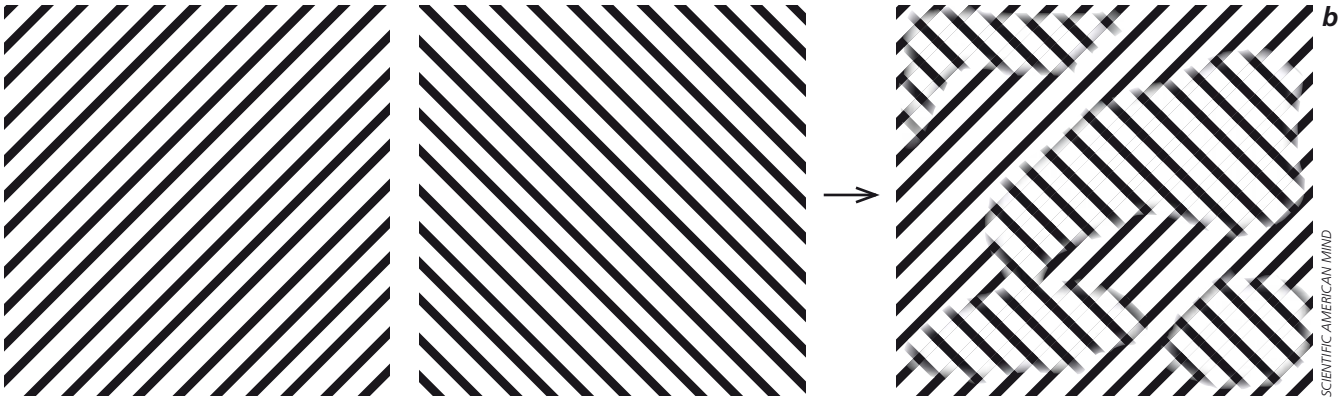
JOHNNY JOHNSON

Ensaye el experimento siguiente. Provéase de unas gafas de lectura de poca graduación, como las que se venden en las farmacias o en algunos bazares. Fije ante las lentes sendos filtros, uno de color rojo brillante y el otro verde. Póngase las gafas. Si ahora mira una superficie o un objeto blanco, ¿qué verá? Si cerramos alternativamente uno y otro ojo, veremos una superficie roja o una superficie verde, como era de esperar. Pero, ¿y si dejamos los dos ojos abiertos? ¿Se armonizan los colores, mezclándose en el cerebro, y produciendo un color amarillo uniforme, como habría de ocurrir al mezclarlos ópticamente? (Como sabe cualquier chiquillo de preescolar, al mezclar pigmentos rojo y verde, como en las témperas, resulta un color marrón. Pero en la fusión de las luces por proyección sobre una pantalla, el rojo y el verde producen amarillo.)

La respuesta, un tanto sorprendente, es que solo se ve una cosa a la vez. El objeto se nos presenta alternadamente

La pauta cambiante de actividad cerebral produce la ilusión de que el objeto es inestable

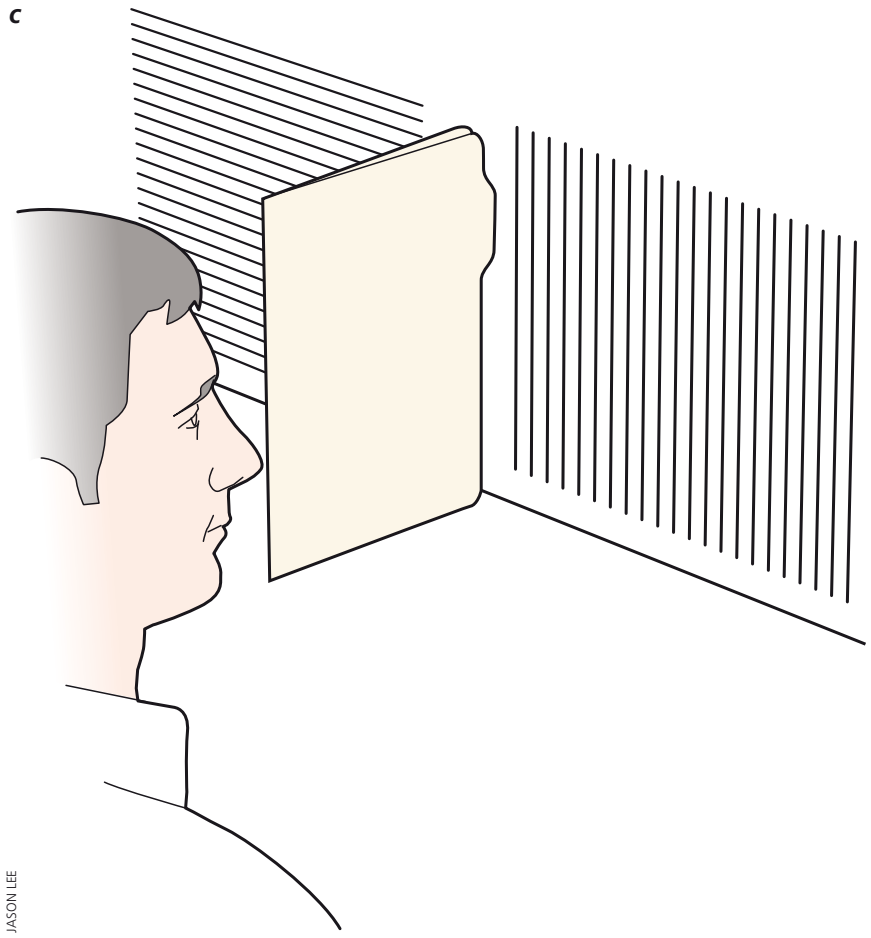
Se verá, o bien la alternancia de los dos conjuntos de franjas, o bien un mosaico fluctuante, pero nunca un cuadriculado



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

de los colores rojo y verde. Parece como si los ojos, para evitar conflictos, fuesen turnándose. Este fenómeno se denomina rivalidad binocular. El efecto es similar al que se aprecia en el cubo de Necker (*a*). Para el observador, puede que estas experiencias de dinamismo perceptual le den la impresión de que el objeto está cambiando. El estímulo, sin embargo, es perfectamente estable; lo que está cambiando es la pauta de actividad cerebral durante la visión, produciendo las alteraciones perceptivas o la ilusión de un objeto inestable.

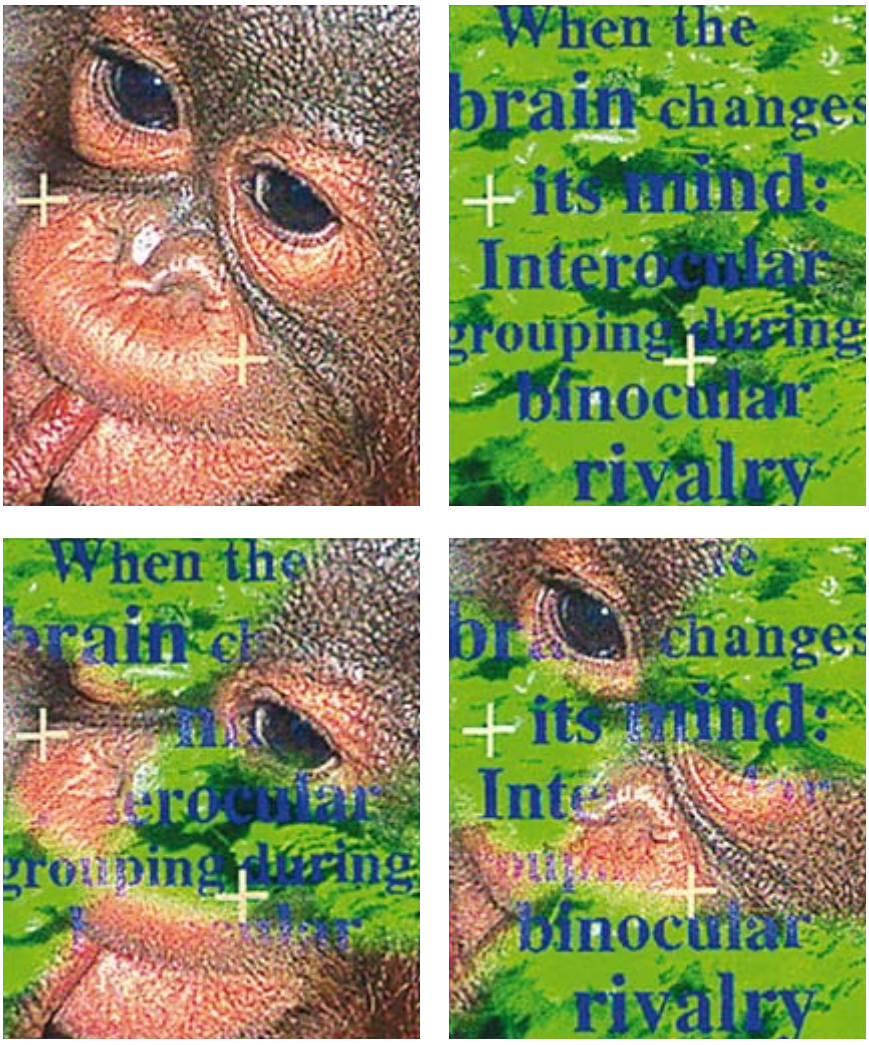
La rivalidad binocular puede constituir un poderoso instrumento para la exploración del problema, más general, de cómo resuelve el cerebro los conflictos de percepción. Ensayemos ahora otro experimento. ¿Qué ocurre si en vez de colores distintos les ofrecemos a nuestros ojos dos conjuntos de franjas que sean mutuamente perpendiculares? ¿Veremos una superficie cuadriculada? ¿Chocarán unas contra otras? La respuesta es que a veces las veremos alternarse, pero con igual frecuencia se percibirá un mosaico de parches o parcelas, en las que aparecen intercaladas secciones de las imágenes de uno y otro ojo (*b*). No hay cuadriculado.



JASON LEE

En principio, podría realizarse este experimento disponiendo una colección de barras verticales para el ojo derecho y otra igual de barras horizontales para el izquierdo, montadas en un visor estereoscópico. Pero si no disponemos de uno, podemos crear una «variante de pobre» (*c*). Bastará para ello definir un separador vertical, así una carpetilla de cartulina y situarla sobre la divisoria de las imágenes que han de corresponder a los ojos derecho e izquierdo. El separador ha de tocarnos la punta de la nariz, para que el ojo izquierdo vea exclusivamente una imagen, y el ojo derecho, solamente la otra. Lo que veremos será, o bien una alternancia de las franjas, o bien un mosaico fluctuante; nunca un cuadriculado. Con práctica, puede prescindirse del separador y aprender la «fusión libre» de las dos imágenes haciendo bizquear o separar los ojos. Resulta más fácil si al inicio se fija la mirada en la

d



FUENTE: «WHEN THE BRAIN CHANGES ITS MIND: INTEROCULAR GROUPING DURING BINOCULAR RIVALRY», POR ILONA KOVÁCS, THOMAS V. PAPATHOMAS, MING YANG Y ÁKOS FEHÉR, EN *PNAS*, VOL. 93; DICIEMBRE 1996, ©1996 BY THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, U.S.A.

Mediante experimentos relativamente sencillos se puede alcanzar una profunda comprensión del procesamiento visual

punta de un lápiz situada a medio camino entre las imágenes y el rostro.

En cuanto haya aprendido ese truco, podrá intentar cierto número de cosas nuevas. Se sabe, por ejemplo, que las áreas cerebrales encargadas del procesamiento del color de las imágenes visuales difieren de las responsables del procesamiento de la forma. Podemos entonces preguntar, ¿se produce la rivalidad por separado para estas dos o, por el contrario, siempre se dan juntas? ¿Y si mirásemos las franjas correspondientes al ojo izquierdo a través de un filtro rojo, y las del ojo derecho, a través de uno verde? En tal caso, se tendría rivalidad de color y rivalidad de forma. ¿Podrán estas dos rivalidades acontecer independientemente, de suerte que el color del ojo izquierdo vaya con las franjas del ojo derecho, o siempre «rivalizan» sincrónicamente? La respuesta, en breve, es que lo hacen juntas. O dicho con mayor crudeza, la rivalidad se produce entre los propios ojos y no en el procesamiento del color o de la forma.

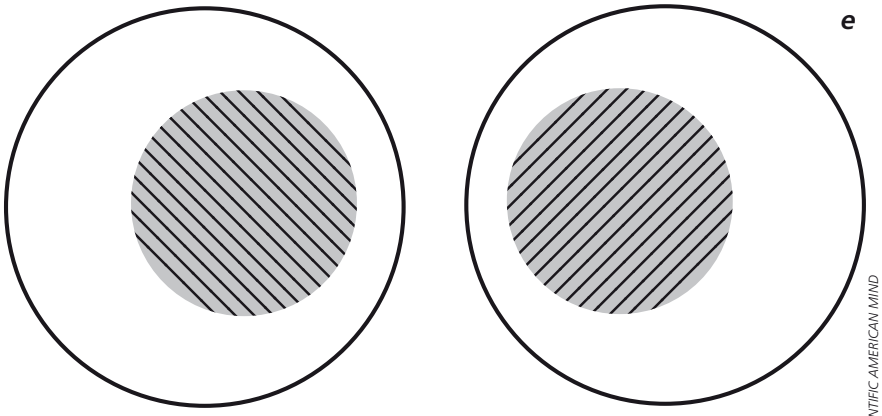
Completar la figura

Pero eso no siempre es verdad. Fijémonos en la curiosa muestra en *d*. La imagen que se le presenta a cada ojo es una composición del rostro de un mono y de follaje. Algo desconcertante: si el cerebro fusiona las dos imágenes, tiene una acusada tendencia a completar, ora el rostro del mono, ora el follaje; a pesar de tal cosa, exige el ensamblaje de fragmentos tomados de ojos distintos para completar las configuraciones. En este caso, el cerebro selecciona fragmentos de cada ojo que «tienen sentido» al ser correctamente combinados en cuanto a configuración holística.

Volvamos a la estereopsis, es decir, al cómputo de la profundidad relativa a partir de las imágenes que recibe cada ojo, ligeramente distintas, porque los ojos están separados de forma horizontal en el cráneo. En este caso se producen la fusión de imágenes y la percepción de profundidad, sin que exista rivalidad binocular.

Resulta francamente notable que los humanos hayan estado vagando durante miles de años por el planeta sin percatarse de la estereopsis (con la idea presu-

e



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

mible de que la ventaja de tener dos ojos sería que si se pierde uno quedaría otro de repuesto). Leonardo da Vinci (1452-1519) reveló que esta información existía hace ya 500 años; que el cerebro hacía realmente uso de ella fue descubrimiento del físico victoriano Charles Wheatstone (1802-1875). Podemos crear un ejemplo del descubrimiento de Wheatstone observando los dibujos de un objeto tronco-cónico (parecido a un balde de agua) vistos desde lo alto. Cuando fusionamos las imágenes de uno y otro ojo (sea por fusión libre o mediante el separador de cartulina), salta hacia nuestros ojos un disco gris, que sobresale del plano del círculo exterior como si se hallara suspendido en mitad del aire.

Pero ¿es necesaria la fusión para que se produzca la estereopsis? La pregunta puede parecer capciosa, porque intuitivamente cabría pensar que así es. Una intuición errónea. Hace unos treinta años, Anne Treisman, de la Universidad de Princeton, Lloyd Kaufman, de la Universidad de Nueva York, y uno de los autores (Ramachandran) demostraron por separado que —paradójicamente— la rivalidad puede coexistir con la estereopsis.

Para comprender este fenómeno, miremos el estereograma que se muestra en *e*. Cuenta con dos parches excéntricos rayados, desplazados horizontalmente en sentidos opuestos con relación a las circunferencias exteriores. Cuando el cerebro efectúa la fusión de estos dos parches, se produce algo extraordinario: se verá todo el parche como flotando por delante de la hoja, aunque a razón de un parche por vez, porque los respectivos rayados son ortogonales. Dicho de otro modo, el cerebro extrae la señal «en estéreo» de los parches como un todo —interpretando los trozos individuales como borrones— pero aun así, se ve que los dos parches rivalizan.

La información relativa a la ubicación de los parches en la retina es extraída por el cerebro y produce estereopsis. Aun cuando solo sea visible cada vez la imagen de un ojo. Es como si la información procedente de una imagen *invisible* pudiera aun así excitar la estereopsis.

Tal «rivalidad de forma» se produce en un área cerebral diferente de la estereopsis, por lo que ambas pueden coexistir en armonía. La correlación entre ellas en la visión binocular es coincidente, no obligatoria. El descubrimiento de que cierta información visual puede ser procesada inconscientemente en una senda cerebral paralela nos hace pensar en el enigmático síndrome neurológico de la visión ciega. Un paciente con la corteza visual dañada sufre ceguera completa. No puede percibir de forma consciente un punto luminoso. Pero sí es capaz de extender la mano y tocarlo valiéndose de una senda neuronal paralela que circunvala a la corteza visual (la cual es necesaria para la percepción consciente) y se proyecta directamente sobre centros cerebrales que se encuentran en una especie de piloto automático y guían la mano.

Sería posible, en teoría, realizar un experimento parecido para la rivalidad binocular. Cuando la imagen de uno de los ojos queda suprimida a causa de la rivalidad binocular, ¿se podría todavía extender la mano y tocar un punto que se le presenta a ese ojo, a pesar de que ese punto, para el ojo suprimido, es invisible?

El fenómeno de la rivalidad constituye un llamativo ejemplo de la forma en que podemos servirnos de experimentos sencillos para adquirir profundas nociones sobre el procesamiento visual.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 29

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

STEREOPSIS GENERATED WITH JULESZ PATTERNS IN SPITE OF RIVALRY IMPOSED BY COLOUR FILTERS. V. S. Ramachandran y S. Sriram en *Nature*, vol. 237, págs. 347-348, 9 de junio de 1972.

BINOCULAR VISION AND STEREOPSIS. Ian P. Howard y Brian J. Rogers. Oxford University Press, 1995.

BINOCULAR RIVALRY. Compilación de David Alais y Randolph Blake. MIT Press, 2004.

Visto como un todo

El sistema perceptivo aporta significado al caos de estímulos e informaciones que captamos. Existen reglas que rigen dicho proceso

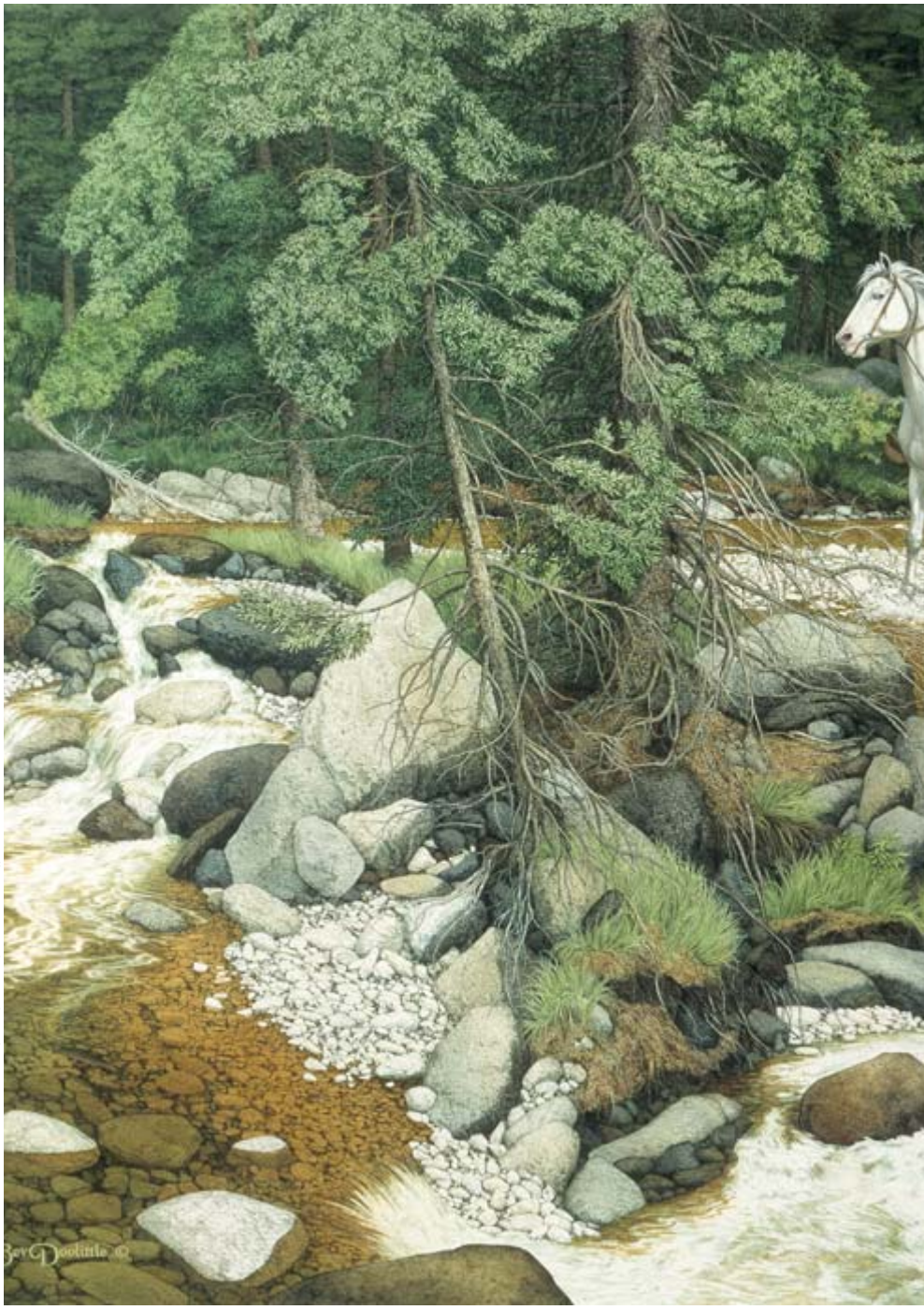
RAINER ROSENZWEIG

La percepción de las formas constituye una de las facultades más importantes que nos permiten percibir el mundo que nos rodea. Los órganos de los sentidos nos proporcionan una serie de datos incoordinados: los ojos se limitan a registrar manchas y líneas; los oídos, detectan tan solo sonidos y ruidos. Es el cerebro, al relacionar entre sí los elementos, el que adjudica significado a la información registrada. En definitiva, el ambiente en el que nos movemos no está formado por líneas y manchas de colores, sino por objetos y seres vivos. El sistema perceptivo se ocupa de agrupar estímulos en unidades mayores con el fin de facilitar su procesamiento.

Hasta principios de siglo XX, predominaba la idea en psicología de que las sensaciones consistían en la simple suma de percepciones individuales. En los años veinte del pasado siglo se opuso a dicha «psicología elemental» la escuela berlinesa de la psicología de la Gestalt, fundada, entre otros, por el psicólogo Max Wertheimer (1880-1943). La idea básica de sus defensores estriba en que el todo es algo más que la suma de sus partes.

Para reforzar tal principio, Wertheimer y sus partidarios buscaron las reglas según las cuales a partir de los estímulos surgen las percepciones. Descubrieron toda una serie de leyes básicas que, en su opinión, rigen el proceso perceptivo: las leyes de la Gestalt.

Una de las más importantes es la **ley de la buena forma o de la pregnancia**. De acuerdo con ella, interpretamos los estímulos de modo que obtenemos el resultado más sencillo y obvio posible. En la figura izquierda de *a*, por regla general reconocemos dos cuadrados superpues-



BEV DOOLITTLE / THE GREENWICH WORKSHOP, INC. («EL BOSQUE TIENE OJOS»); LAS DEMÁS ILUSTRACIONES DEL ARTÍCULO, *GEHIRN & GEIST*

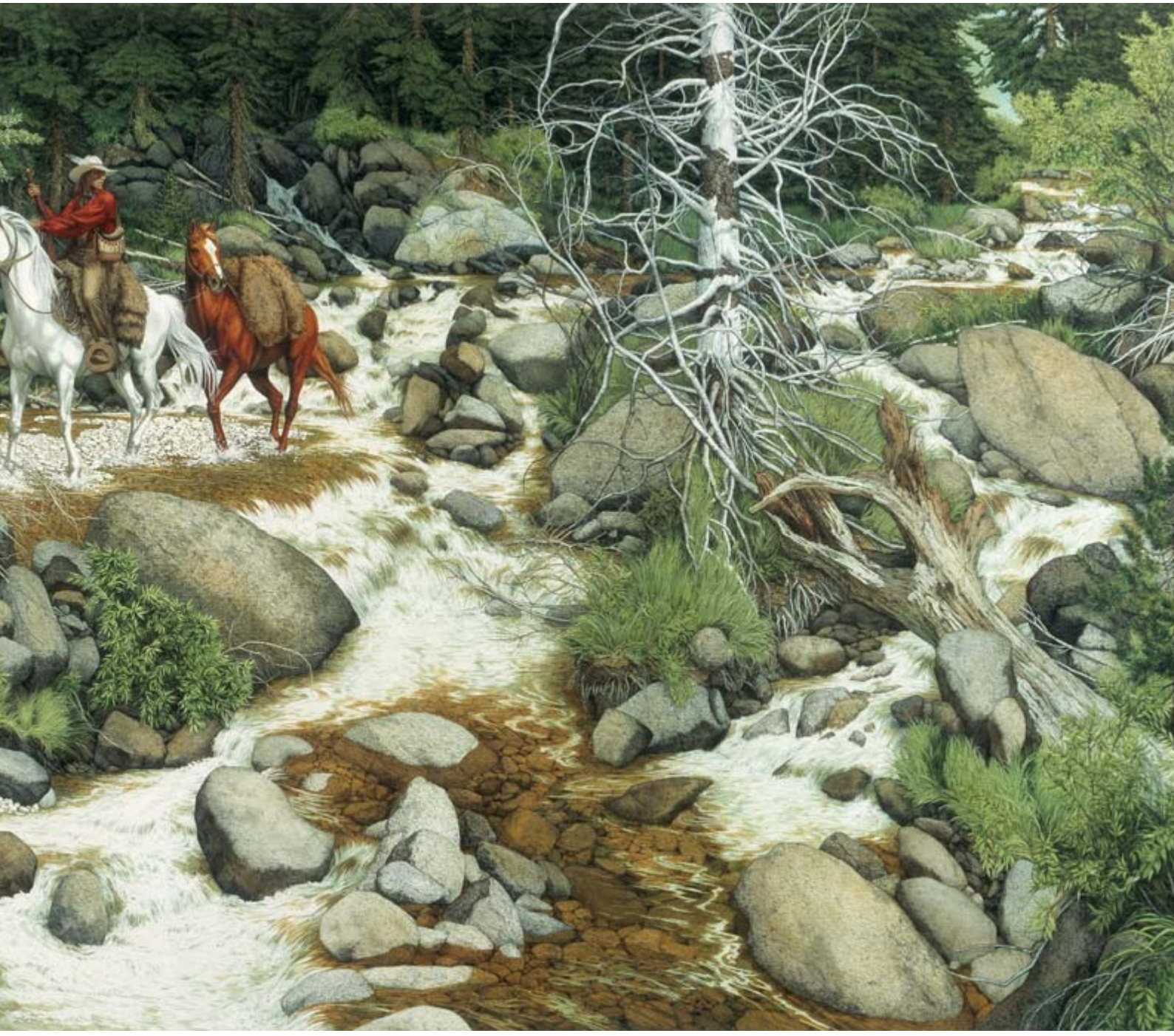
tos, no un octógono con ocho pequeños triángulos en cada lado, respuesta también posible.

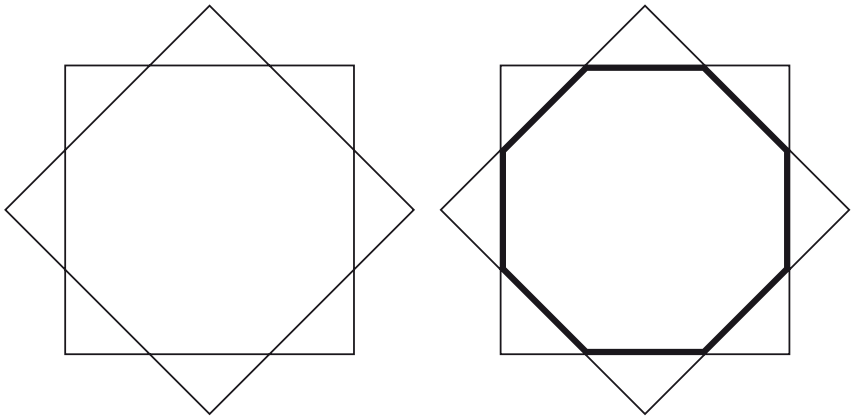
La **leyes de la semejanza** (*b*) y **de la proximidad** (*c*) ayudan, asimismo, a agrupar de forma racional los estímulos: percibimos los objetos de similar o igual color, orientación, tamaño, luminosidad o forma como si formasen parte del mismo colectivo. Igual ocurre con los elementos próximos. Ahora bien ¿qué sucede cuando una misma imagen se ve sometida a varias leyes de conformación contradictorias entre sí (*d*)? En la mayoría de los casos, una de las leyes se impone a las demás. Aquí desempeña una función importante la intensidad con la que se manifiestan las propiedades en cuestión, como es el grado de proximidad o semejanza entre los elementos.

La **ley del destino común** se manifiesta en algunos partidos de fútbol. Imagínese el lector a los seguidores de un club de balompié en el estadio. Aparecen como un mar multicolor unificado por los colores de su equipo. De repente un sector de los espectadores, de forma progresiva y de arriba a abajo, se va poniendo en pie

OBSERVADOR PENSATIVO

La tendencia a interpretar formas donde no existen más que manchas sin relación alguna se pone aquí de manifiesto. En la imagen pueden reconocerse hasta 13 caras. ¿Cuántas encuentra usted?

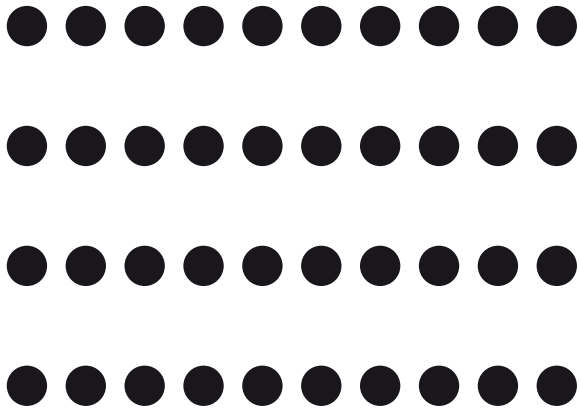




a. CUADRADOS EN VEZ DE OCTÓGONO
Por lo general, en la imagen superior se reconocen dos cuadrados girados superpuestos. La mayoría de las veces pasamos por alto el octógono (*derecha*).

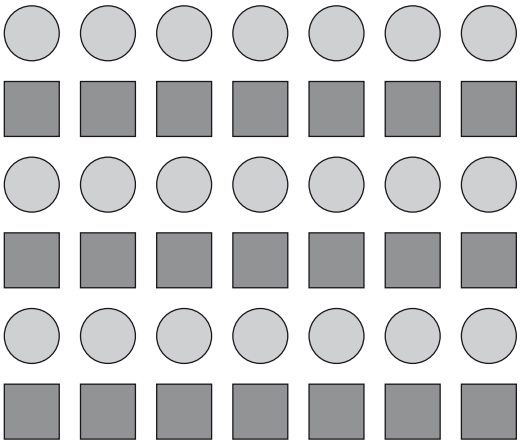
y volviéndose a sentar. El sector situado junto al anterior hace lo mismo, mas con un poco de retraso; así de manera sucesiva. Si se observa la escena desde el exterior, da la impresión de que una ola recorra el estadio a través del público. De hecho, los amantes del fútbol hablan de «hacer la ola».

Según el principio de esta ley gestáltica, diversos elementos actúan como una unidad cuando realizan movimientos similares, es decir, cuando poseen el «mismo destino». En el caso de la ola, son los espectadores situados en sectores sucesivos quienes al levantarse crean el movimiento. Un efecto semejante sucede cuando un grupo de puntos tomados al azar se desplazan respecto al resto. Interpretamos el conjunto de elementos que se desplazan como constitutivos de una figura; lo mismo sucede con la ola humana en un estadio.

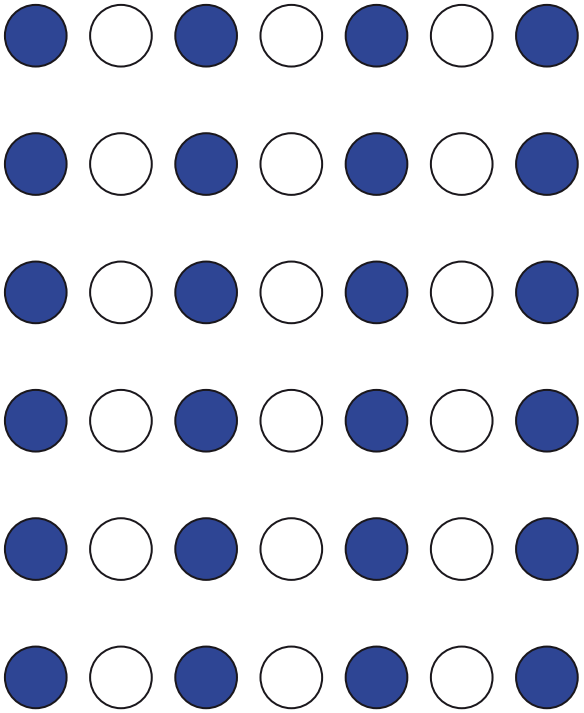


c. COMO UNA CADENA
Interpretamos una serie de objetos situados uno junto a otro como partes de un todo.

b. IGUAL CON IGUAL
El sistema perceptivo tiende a agrupar elementos semejantes como partes de una unidad.



d. SOLO UNA
Si se aplican a una imagen dos o más leyes gestálticas incompatibles entre sí, es frecuente que se imponga una a las demás. En este caso, para la mayoría de las personas domina la impresión cromática, de manera que los círculos aparecen agrupados en columnas.



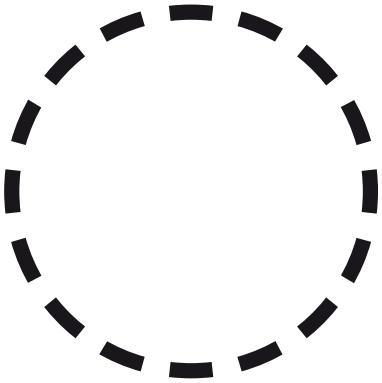
e. SIGUIENDO LA CONTINUIDAD
En la imagen de la izquierda vemos dos líneas curvas que se cruzan. Una interpretación alternativa aparece cuando existe un espacio vacío (*derecha*).

Reconstrucción de un balón

Supongamos ahora que seguimos un partido de fútbol ocultos tras unos arbustos. A través de las hojas solo distinguimos una parte del balón. Nuestro sistema perceptivo puede reconstruir la imagen completa del esférico a base de ordenar las manchas que se mueven en la misma dirección. De esta manera admitimos el destino común de los fragmentos de la pelota: todos ellos forman parte de un mismo objeto, el balón.

Por otra parte, tendemos a considerar que las líneas rectas o curvas forman parte de un todo (**ley de la continuidad**, *e, derecha*). La mayoría de las veces solo reconocemos cambios bruscos de dirección cuando las líneas se interrumpen, con lo cual no cabe ninguna otra explicación. Este principio guarda relación con la ley general de la pregnancia (*a, izquierda*): los dos cuadrados están formados por líneas continuas.

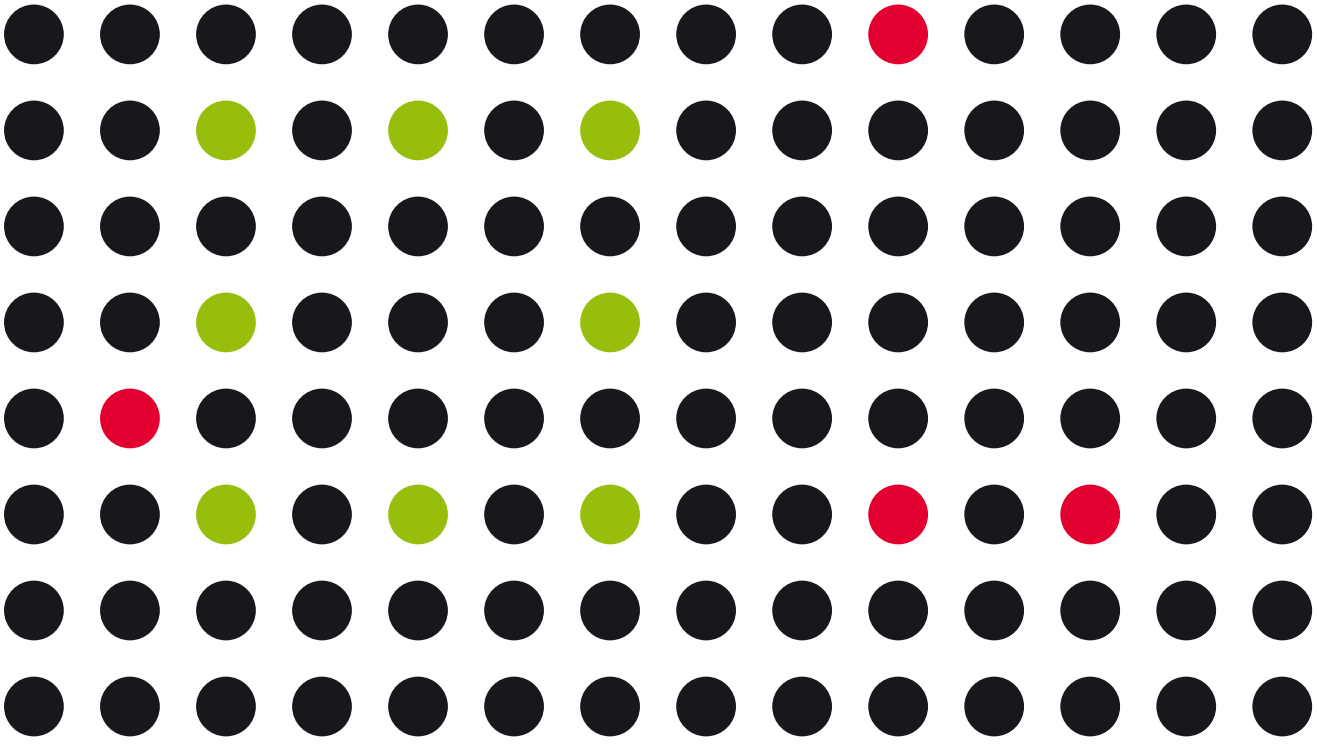
f. RELLENAR LOS HUECOS
La imagen muestra 16 cortos trazos con una ligera curvatura; sin embargo nuestro sistema perceptivo construye una circunferencia a partir de su ordenación.



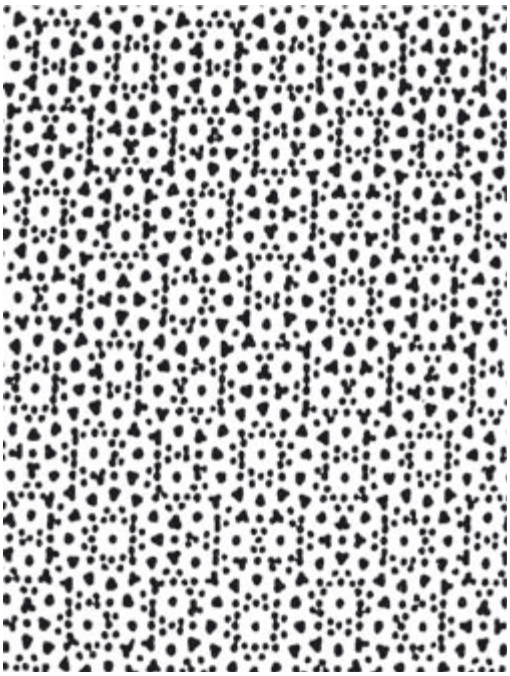
La **ley del cerramiento** describe la tendencia a agrupar como componentes de un todo aquellos elementos que conforman una forma cerrada. En su virtud interpretamos 16 trazos individuales como una circunferencia completa (*f*).

Además de las seis leyes básicas de la Gestalt, los psicólogos de la percepción han descrito otros factores que influyen en el reconocimiento de las formas. La **ley de la simetría** (*g*) agrupa estructuras que destacan por hallarse ordenadas de modo regular. Esta experiencia desempeña una función importante en la **ley de la fami-**

g. PONER ORDEN AL CAOS
Las estructuras ordenadas de forma regular siempre llaman más la atención. Para nuestro ojo resulta más llamativo el cuadrado formado por los puntos verdes que los puntos rojos, a pesar de que su color destaca más.



h. MULTITUD DE INTERPRETACIONES
En esta estrella pueden reconocerse diversas formas: dos triángulos entrelazados (*tercera desde arriba*) o dos libros de color gris claro abiertos (*abajo*).



i. FIGURAS FUGACES
La imagen consiste en una multitud de pequeñas manchas negras. No obstante, creemos reconocer sencillas figuras geométricas: líneas, circunferencias y cuadrados que aparecen y desaparecen en cada movimiento de los ojos. En ocasiones, el intento de reconocer figuras supera nuestro sistema perceptivo.

liaridad. Podemos identificar de forma rápida aquellas figuras que nos resultan conocidas. Con frecuencia identificamos en las formaciones nubosas toda clase de formas; también reconocemos un gran número de caras en el cuadro *El bosque tiene ojos* de la pintora Bev Doolittle (*al inicio del artículo*). Para el psicólogo Stephen Palmer, de la Universidad de California en Berkeley, importa que los elementos se presenten de manera simultánea, en la misma zona o relacionados entre sí.

Sin embargo, las leyes de la forma pueden inducir a error, ya que en la actualidad sabemos que dichos principios no comportan una validez indiscutible, más bien son correctos en la mayoría de los casos. De hecho, su valor difiere de una persona a otra. Seguidores de la psicología de la Gestalt de Wertheimer critican que tales principios no permitan hacer pronósticos. Las auténticas leyes deben ir más allá de explicar relaciones internas entre elementos, deben ofrecer la posibilidad de predecir cómo percibimos un estímulo del cual no tengamos experiencia previa. Ello no se consigue con las leyes gestálticas. La ley de la pregnancia no proporciona criterios para definir qué se entiende por una «buena forma». Existen incluso figuras en las que pueden descubrirse diversas formas saltando la percepción de unas a otras. La imagen superior en *h* se percibe, en principio, como una estrella regular de cinco puntas. Al cabo de unos instantes, algunas personas aprecian también dos triángulos invertidos superpuestos, dos libros abiertos separados por rombos u otros objetos.

Sea como fuere, las leyes de la Gestalt resultan útiles, ya que sirven de herramienta para describir nuestras percepciones. Además, demuestran que, aunque quisiéramos, no podemos sustraernos a la formación de patrones interpretativos de las imágenes. La búsqueda de sentido y significado del mundo que nos rodea resulta muy útil para la supervivencia diaria, pero también supone una fuente de irritantes ilusiones. En resumen: nuestro cerebro descubre un orden en el mundo; y allí donde no existe, se lo inventa.

***Rainer Rosenzweig**, doctor en psicología de la percepción, dirige del museo experimental Turm der Sinne («Torre de los sentidos»), en Núremberg.*

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 52

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

WAHRNEHMUNGSPSYCHOLOGIE. EIN GRUNDKURS (7.ª edición). E. B. Goldstein. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2007.

GESETZE DES SEHENS. KLOTZ (4.ª edición). W. Metzger. Eschborn, 2007.

Lo alto, arriba

La investigación sobre la percepción nos trae a primer plano la importancia de la postura erguida

VILANAYUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

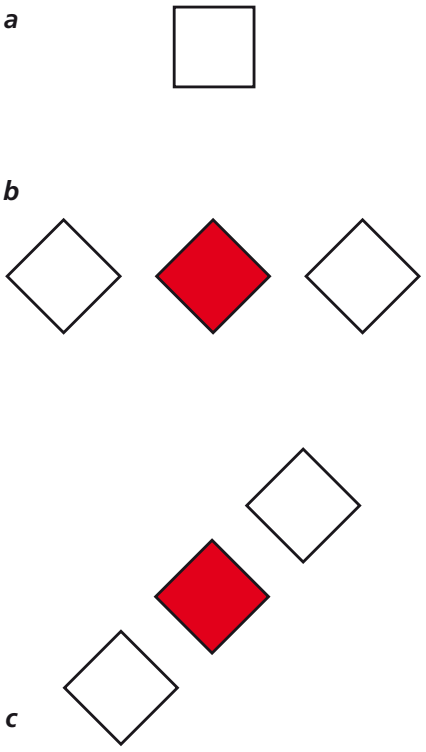
Aunque el cristalino del ojo proyecta sobre la retina una imagen invertida, vemos el mundo con la orientación debida. Suele afirmarse que la imagen del globo ocular vuelve a ser invertida en el cerebro, para restaurar la orientación original, pero tal declaración es errónea. No se produce ese giro de 180 grados porque el cerebro no dispone de una copia de la imagen retiniana: cuenta solo con pautas de impulsos nerviosos, que codifican la imagen de modo que resulte correctamente percibida. El cerebro no imprime giro alguno a los impulsos nerviosos.

Dejado aparte ese error común, la visión de las cosas en la orientación correcta reviste harto mayor complejidad de lo que cabría imaginar, según señaló con nitidez hace unos 30 años Irvin Rock, investigador de la percepción de la Universidad Rutgers.

Con la cabeza ladeada

Veamos de sondear tales complejidades mediante algunos experimentos sencillos. Para empezar, ladee la cabeza 90 grados manteniendo la mirada fija en los objetos de la habitación. Los objetos en cuestión (mesas, sillas, personas) se siguen viendo con la orientación que tenían; no parecen haberse inclinado de pronto.

Supongamos que ahora se vuelca una mesa sobre uno de sus costados, haciéndola girar 90 grados. La veremos tumbada, como tendría que ser. Sabemos que la correcta percepción de la mesa al ladear la cabeza no se debe al «recuerdo» de la posición habitual; el efecto funciona igualmente bien para esculturas abstractas de una galería de arte. Tampoco el ambiente circundante da la solución: una mesa luminosa situada en una habitación a oscuras seguiría viéndose derecha, aunque la mirásemos ladeando la cabeza.

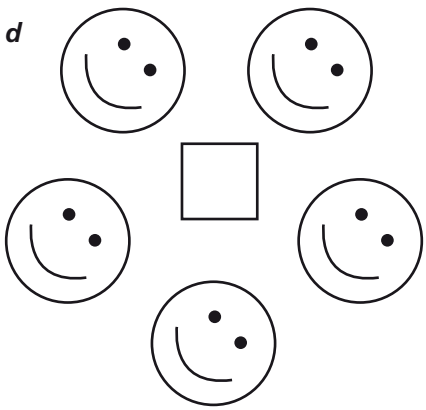


El cerebro determina dónde es arriba y dónde abajo, basándose en señales de realimentación que el sistema vestibular del oído (que indica el grado de inclinación de la cabeza) envía a las áreas visuales; dicho de otro modo, el cerebro, cuando interpreta la orientación de la mesa, *tiene en cuenta* el ladeo de la cabeza. La perífrasis «tiene en cuenta» se ajusta mucho más a la realidad que «hace girar» la imagen de la mesa tumbada. No hay en el cerebro una imagen que girar, y, aun cuando la hubiera, ¿quién sería la «personita» que mirase en el cerebro la imagen girada?

En el resto de este ensayo no se dirá «girar,» sino «reinterpretar» o «corregir.» Aunque no sean muy precisos, estos términos servirán, por brevedad.

La corrección vestibular tiene limitaciones claras. Resulta bastante difícil leer textos que estén vueltos hacia abajo. Pruebe, si no, con esta revista. Ahora, si gusta, dóblese hacia adelante por la cintura, y con la cabeza hacia abajo, apuntando al suelo, trate de leer la página por entre las piernas, con el texto orientado hacia arriba. La lectura sigue resultando difícil, a pesar de que la información vestibular indica sin ambages que la página y el texto correspondiente se hallan orientados hacia arriba en el mundo, al contrario que la cabeza. Las letras resultan, perceptivamente, demasiado tupidas y diminutas para que la corrección vestibular sirva de gran cosa, a pesar de que la orientación global de la página haya sido corregida.

Examinemos estos fenómenos más de cerca. Mire el cuadrado de *a*. Si lo hacemos



SCIENTIFIC AMERICAN MIND (*a, b, c, d, e, g y h*); TANIA LOMBROZO (*f*)

El cerebro tiene en cuenta la inclinación de la cabeza cuando interpreta la orientación de un objeto

f

g

girar físicamente 45 grados, veremos un rombo. Pero si lo que hacemos es inclinar la *cabeza* 45 grados, el cuadrado sigue pareciendo un cuadrado, a pesar de que su proyección en la retina (el tejido fotosensible que recubre el fondo del ojo) sea un rombo. Ha vuelto a actuar la corrección vestibular.

La imagen de conjunto

Fijémonos ahora en los dos rombos centrales rojos de las figuras *b* y *c*. El rombo de *b* tiene aspecto de rombo, mientras que el de *c* parece ser un cuadrado, a pesar de que mantenemos la cabeza erguida y no existe, obviamente, corrección vestibular. Esta sencilla demostración pone de manifiesto los poderosos efectos del eje general de la figura «de conjunto» compuesta por los cuadrados (o rombos) pequeños. Sería engañoso hablar de «contexto» en este efecto, porque en *d* —un cuadrado rodeado por caras inclinadas a 45 grados— el cuadrado sigue pareciendo un cuadrado (aunque tal vez no tanto como si está aislado).

Se pueden, asimismo, examinar los efectos de la atención visual. La figura de *e* es un compuesto. En este caso, la figura roja central es ambigua. Si se presta atención a la columna vertical, parece ser un rombo; si se la mira como miembro del grupo alineado oblicuamente, semeja un cuadrado.

Todavía más vigorosa resulta la ilusión «George W. Bush», una variante de la ilusión «Margaret Thatcher» ideada por Peter Thompson, de la Universidad de York. Al mirar las fotos invertidas del rostro de Bush de esta página (*f*) no se aprecia nada raro (aparte de su expresión anodina habitual). Pero al girar la página, para verlas en posición normal, se apreciará lo grotesco de su aspecto. ¿A qué se debe dicho efecto?

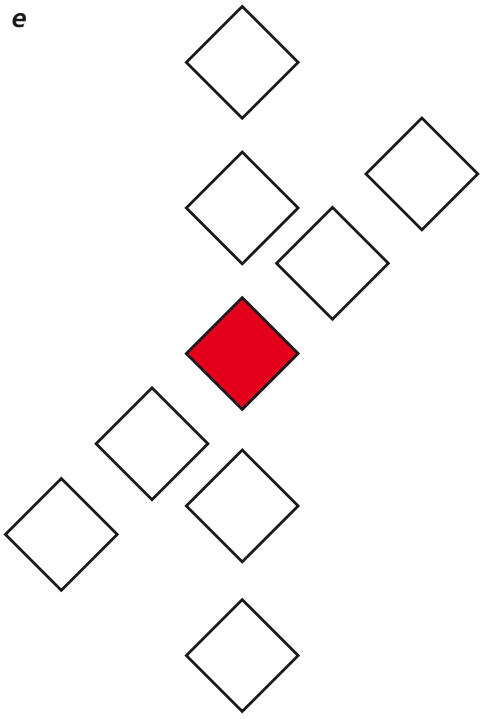
La razón es que a pesar de la aparente unidad de percepción, el análisis de la imagen por el cerebro avanza por piezas. En este caso, la percepción de un rostro depende en buena medida de las posiciones relativas de los rasgos fisonómicos (ojos, nariz y boca). Por eso el rostro de Bush es percibido como un rostro (aunque sea un rostro que está cabeza abajo), exactamente lo mismo que una silla vuelta patas arriba es inmediatamente reconocida como una silla. En cambio, la expresión que aportan los rasgos faciales depende en exclusiva de su orientación (comisuras de los labios vueltas hacia abajo, distorsión de las cejas), con independencia de cómo se perciba la orientación general de la cabeza, vale decir, del «contexto».

Nuestro cerebro no puede efectuar la corrección de los rasgos; no son debidamente reinterpretados, a diferencia de la imagen global del rostro, que sí lo es. La identificación de ciertos rasgos (comisuras labiales vueltas hacia abajo, cejas, etcétera) es primitiva, desde un punto de vista evolutivo; es posible, sin más, que no haya evolucionado la destreza computacional que la reinterpretación exige.

Por otra parte, en el caso del reconocimiento general de un rostro como un mero rostro, el sistema podría ser más «tolerante» con respecto al tiempo de cómputo adicional requerido. Esta hipótesis explicaría por qué la segunda cara vuelta hacia abajo parece normal, en lugar de grotesca: los rasgos faciales son dominantes mientras no se invierte la orientación del rostro.

Este mismo efecto queda ilustrado en los rostros de la viñeta (*g*). Resulta difícil captar su expresión cuando están vueltos hacia abajo, aunque todavía reconozcamos que son caras. (Podemos deducir, por razonamiento lógico, cuál sonríe y

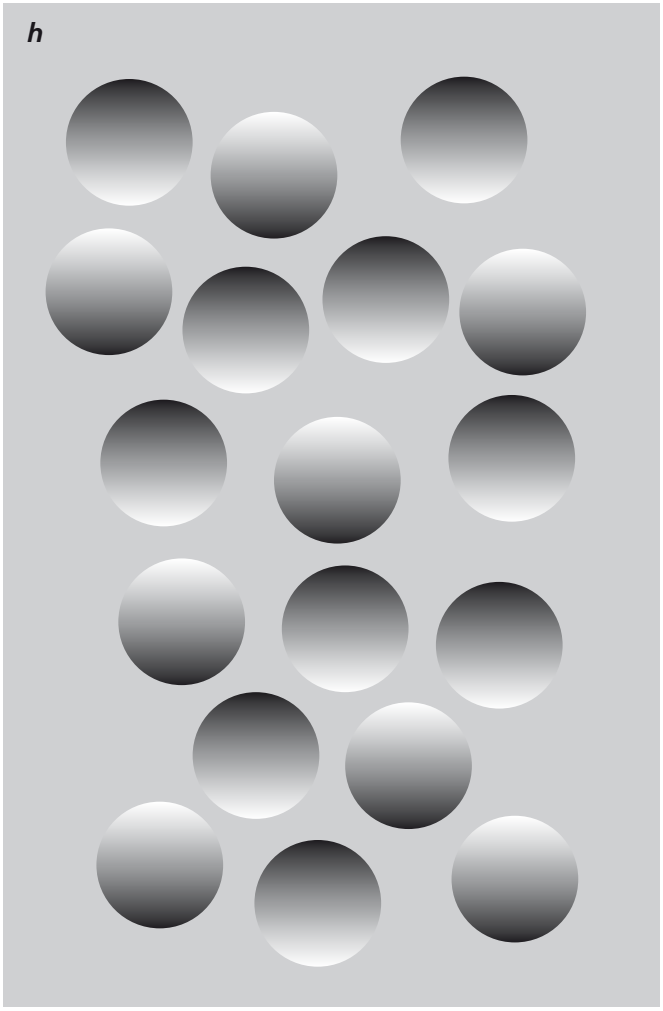
e



A pesar de la impecable unidad de la percepción, el cerebro analiza la figura por partes

cuál está ceñuda, pero eso no resultaría de la percepción.) Al invertir su orientación, sin embargo, sus expresiones son identificadas en el acto, como por magia.

Por último, si nos doblamos hacia adelante y miramos a *f* por entre las piernas, la expresión de las caras quedará asombrosamente clara, pero las caras seguirán estando cabeza abajo. Ello se debe a que la corrección vestibular se aplica selectivamente a la cara, pero no afecta a la percepción de los rasgos faciales (que ahora están orientados hacia arriba en la retina). Lo que importa es la forma de los rasgos en la retina —con independencia de la corrección vestibular— y las coordenadas «centradas en el mundo» que tales correcciones le permiten al cerebro computar.



Indicaciones de profundidad

Tampoco se da la corrección vestibular en la percepción de la forma (y la profundidad) basada en indicios suministrados por sombras. En *h* vemos un conjunto de «huevos» convexos repartidos al azar entre cavidades. Los centros cerebrales implicados en la computación de sombras formulan la presunción razonable —que el Sol normalmente ilumina desde arriba— por lo que las prominencias brillarán en lo alto y los huecos, en su parte inferior. Al darle la vuelta a la página, los huevos y los alvéolos truecan instantáneamente sus papeles.

Se puede comprobar este efecto repitiendo el experimento de mirar por entre las piernas con la página orientada hacia arriba. Lo mismo que antes, huevos y alvéolos se intercambian los lugares. A pesar de que el mundo como un todo ofrece aspecto normal y derecho (a causa de la corrección vestibular), los módulos cerebrales que extraen formas basándose en las sombras no pueden utilizar la corrección vestibular; sencillamente, no conectan con ella. Evolutivamente, este fenómeno es lógico, pues no vamos por el mundo cabeza abajo, y podemos permitirnos eludir la sobrecarga computacional de tener en cuenta la posición de la cabeza cada vez que se interpretasen imágenes con sombras.

La evolución biológica no se orienta hacia la perfección absoluta de la maquinaria perceptiva; busca tan solo hacerla estadísticamente fiable con la frecuencia y rapidez suficientes para que lleguemos a tener progenie, aunque la adopción de tales sendas «heurísticas» —estos atajos— hagan al sistema susceptible de errores en casos excepcionales. La percepción es fiable, pero no infalible; es un «saco de trucos».

Cabezas en vaivén

Una última observación: la próxima vez que se tumbe en la hierba, fíjese en las personas que pasan cerca. Las verá erguidas y andando normalmente, claro está. Pero mírelas estando usted cabeza abajo; por ejemplo, haciendo el pino. O bien échese sobre un costado, con la cara descansando en el suelo. Seguirá viendo a la gente andar erguida, pero ahora le dará la impresión de que sus cabezas y hombros suben y bajan, en vaivén. Este movimiento tiene una explicación inmediata: después de muchos años de ver a los demás desde una postura derecha, hemos aprendido a eliminar la oscilación de sus cabezas y hombros.

Lo mismo que antes, la realimentación vestibular no dispone de corrección para este vaivén de la cabeza, aunque sí suministra la suficiente para hacernos ver erguidos a los demás. Es posible que para comprender todo esto deba el lector doblarse por la cintura hacia atrás, pero nos parece que tal esfuerzo vale la pena.

De súbito, las cabezas y los hombros de los paseantes suben y bajan mientras caminan

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 33

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ORIENTATION AND FORM. Irvin Rock. Academic Press, 1973.

MARGARET THATCHER: A NEW ILLUSION. Peter Thompson en *Perception*, vol. 9, págs. 483-484, 1980.

Una evidencia transparente

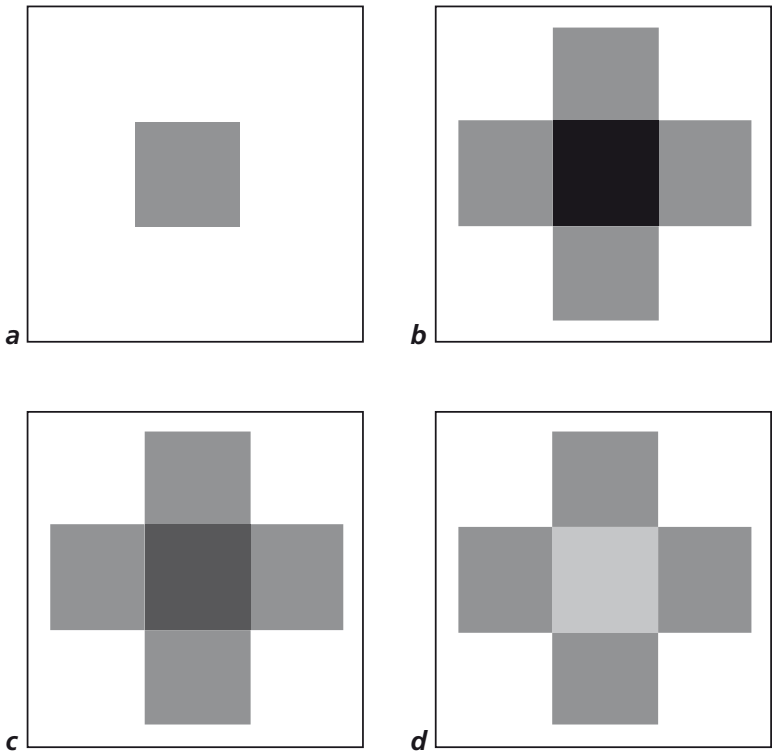
De cómo resuelve el cerebro los problemas de percepción que plantean los cristales de color, las sombras y todo cuanto sea transparente

VILAYANUR R. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Nuestra capacidad para percibir sin esfuerzo escenas visuales depende del inteligente despliegue de los conocimientos que tenemos implantados sobre el mundo exterior. La palabra clave es, en este caso, «inteligente», y ello plantea las preguntas: ¿Cuán inteligente es el sistema visual? ¿Cuál es su cociente intelectual? En particular, ¿conoce el sistema visual las leyes de la física? ¿Aplica solamente lógica inductiva (como muchos sospechan) o es capaz de efectuar también procesos deductivos? ¿Cómo gestiona las paradojas, los conflictos o la información incompleta? ¿Hasta dónde llega su capacidad de adaptación?

Se puede lograr alguna comprensión de la inteligencia perceptiva mediante el estudio de la transparencia, un fenómeno explorado por Fabio Metelli (1907-1987), quien estudió los efectos Gestalt. Metelli llamó la atención sobre la posibilidad de lograr vigorosas ilusiones de transparencia por medio de figuras bastante sencillas.

El término transparencia se está utilizando en sentido lato. A veces se refiere a la visión de un objeto, como la lente de unas gafas de sol, y los objetos que son visibles del otro lado de tal objeto; otras, significa ver algo como si estuviera tras un cristal deslustrado o empañado, lo que se conoce por translucencia. En esta sección nos limitaremos a la primera acepción, pues las leyes físicas y perceptivas correspondientes son más sencillas.



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

¿Conoce el sistema visual las leyes de la física? ¿Cómo afronta las paradojas o la información incompleta?

Física de la transparencia

Examinemos en primer lugar la física de la transparencia. Si se coloca un filtro rectangular de densidad natural neutra —unas gafas oscuras, por ejemplo— sobre una hoja de papel blanco, el filtro solo permite el paso a su través de cierta proporción de luz: el 50 por ciento, sea por caso. O sea, si el papel tiene un brillo (luminancia) de 100 candelas (cd) por metro cuadrado, la porción cubierta por el filtro tendrá una luminancia de 50 cd. Si entonces se añade un segundo filtro, que se superponga parcialmente al primero, la región de superposición recibirá el 50 por ciento del 50 por ciento original, es decir, el 25 por ciento. La relación es siempre multiplicativa.

Hasta aquí la física. Pero ¿qué ocurre con la percepción? Si, como en *a*, tenemos un cuadrado oscuro en el centro de un cuadrado claro (con brillos respectivos de 50 cd y 100 cd por m^2), el cuadrado interior podría corresponder a un filtro que redujese la luz al 50 por ciento; o bien, un cuadrado oscuro, que reflejase solamen-

© FOTOLIA / UNDY

te un 50 por ciento de luz en relación al ambiente que le rodea. Sin información complementaria, no hay forma de que el sistema visual pueda saber cuál de las dos situaciones es la real. Pero como la segunda es mucho más frecuente en la naturaleza, eso es lo que veremos siempre.

Consideremos ahora dos rectángulos que formen una cruz, con una región de superposición en su parte central. En tal caso no resulta inconcebible —y de hecho, es lo más probable— que esta configuración consista en dos piezas de filtro superpuestas, en lugar de cinco cuadrados dispuestos para formar una cruz. Pero de darse el primer caso, las ratios de luminancia han de ser tales, que el cuadrado central (la región de superposición) sea más oscuro que todos los demás; y desde luego, más oscuro que el fondo.

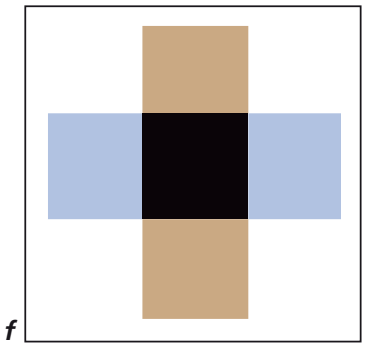
En particular, la luminancia del cuadrado central debería depender multiplicativamente de los dos porcentajes de filtrado. Si las regiones no superpuestas de los dos rectángulos son, por ejemplo, el 66 y el 50 por ciento del fondo, respectivamente, entonces el rectángulo interior debería ser el 50 por ciento del 66 por ciento, aproximadamente (es decir, 33 cd suponiendo que al papel blanco le correspondan 100 cd.)

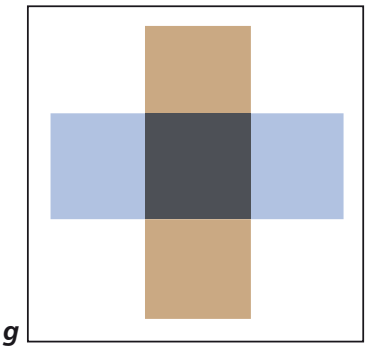
Esta es ahora la cuestión: ¿Posee el sistema visual un «conocimiento» tácito de todos estos factores? Podemos tratar de averiguarlo mediante una serie de imágenes (*b*, *c*, *d*), en las cuales el fondo y los rectángulos tienen luminancia constante (que supondremos de 100 y 50 cd, respectivamente) y en las que cambia solo la luminancia del cuadrado interior. En términos de la luminancia que existiría con la transparencia física, el cuadrado interior resulta ser demasiado oscuro (*b*), adecuadamente oscuro (*c*) o demasiado claro (*d*). Si se observan estas figuras sin saber nada de física, los rectángulos se ven transparentes en *c*, pero no en *b* ni en *d*. Viene a suceder como si nuestro sistema visual supiera lo que uno ignora (o ignoraba antes de leer este artículo).

Este experimento nos hace pensar que, para que se aprecie transparencia han de cumplirse dos condiciones. En primer lugar, la figura debe poseer una complejidad y segmentación que justifiquen tal interpretación (y, por consiguiente, no vemos transparencia en *a*). Y en segundo, las ratios de luminancia tienen que ser correctas (no hay transparencia visible en *b* ni en *d*).

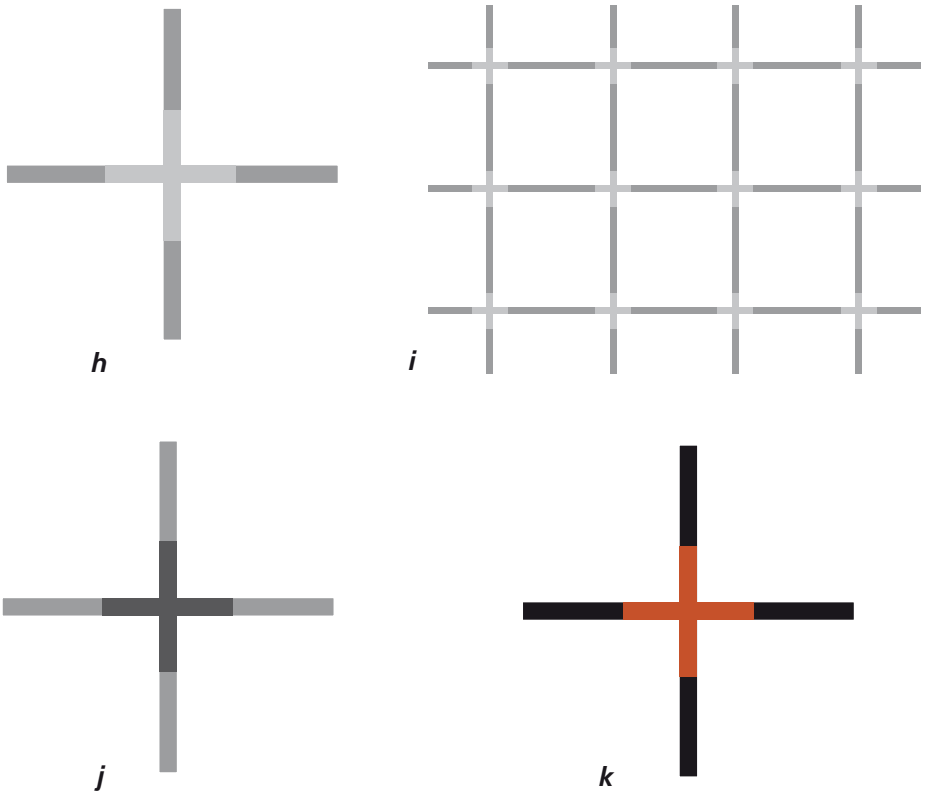
Sombrías influencias

En la naturaleza, la transparencia no es frecuente. Sí lo son las sombras. Es posible que las «leyes» de percepción que





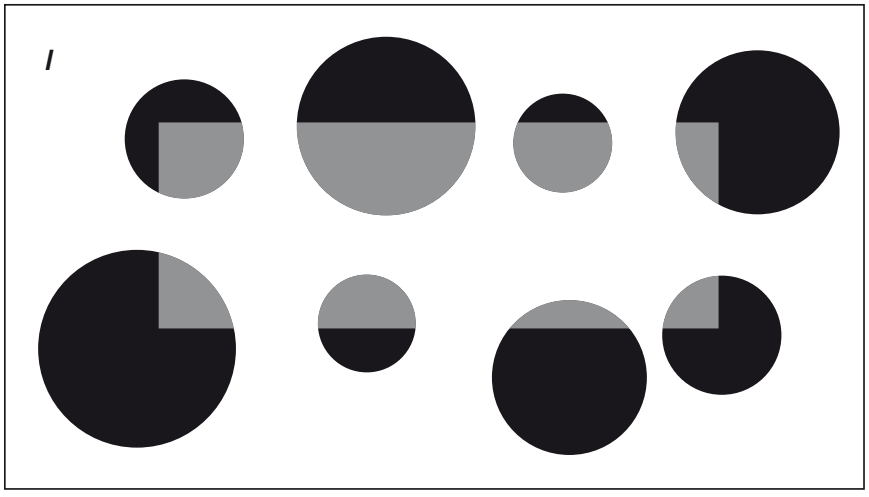
SCIENTIFIC AMERICAN MIND



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

hemos explorado hasta ahora se hayan ido plasmando en el curso de la evolución para distinguir las sombras de los objetos «reales», que también producirían diferencias de luminancia en la escena visual a consecuencia de sus diferencias en reflectancia (por ejemplo, las franjas de una cebra o un gato blanco sobre un felpudo negro).

Las sombras que proyectan los objetos —los árboles, por ejemplo— podrían, en teoría, ser tan negras como la pez si hubiera una única y lejana fuente de luz, sin dispersión ni reflejos. De ordinario, también llega a la sombra la luz ambiente de sus alrededores, por lo que las sombras son oscuras, no negras. Si la sombra del árbol cae sobre una acera y sobre hierba más oscura (*e*), la forma en que varían la magnitud y el signo de la luminancia a lo largo del contorno de la sombra sería idéntica a ambos lados del contorno, el sombrío y el iluminado. Esta covariación de la luminancia le sirve al cerebro de clave para reconocer que se trata de una sombra, no de un objeto o textura.



Resulta que, en la transparencia, los cambios de luminancia remedan los que se observan en las sombras. El sistema visual pudo seguramente evolucionar para descubrir y reaccionar adecuadamente a las sombras, en lugar de hacerlo a los filtros transparentes. De no haber sido así, nosotros estaríamos ahora tratando de asir sombras o saltando ágilmente sobre ellas para no tropezar, sin percatarnos de que la sombra no constituye en absoluto un objeto.

Curiosamente, aunque nuestros mecanismos perceptivos parecen tener conciencia de la física de la transparencia en cuanto a la luminancia, esos mismos mecanismos se muestran ciegos a las leyes correspondientes a la «transparencia» de color. Tenemos en *f* y en *g* dos barras que se cruzan una sobre otra, ambas con una luminancia del 50 por ciento del fondo, por dar un valor. Las hemos preparado de forma que la región de superposición tenga una luminancia del 25 por ciento de la de fondo, como habría de ocurrir si solamente estuviéramos ocupándonos de la luminancia. Pero si los colores de los filtros son diferentes —y aquí lo son— la zona de superposición debería ser completamente negra, no gris. La razón es que el filtro rojo transmite solo longitudes de onda largas («rojo») al ser iluminado con luz blanca, mientras que el filtro azul transmite longitudes de onda cortas («azul»).

Por consiguiente, al superponer los filtros, no pasaría a través de ambos *ninguna* luz; la zona de superposición debería ser negra. De hecho, se aprecia una transparencia, no cuando la zona media es negra, sino cuando lo es en un 25 por ciento (*g*). Al parecer, el sistema visual continúa obedeciendo a la regla de luminancia e ignora las incompatibilidades de color.

Se produce un curioso efecto si se coloca una cruz gris sobre fondo blanco cuando la parte medial de la cruz es de un matiz de gris más claro (*h*). En lugar de ver la cruz gris más clara como lo que es —una cruz— el cerebro prefiere verla como una pieza circular de cristal esmerilado superpuesta en la cruz gris grande. Para lograr esta percepción, el cerebro tie-

El sistema visual pudo haber evolucionado para descubrir y reaccionar adecuadamente a las sombras y no a los filtros de transparencia

ne que «alucinar» una difusión como la de vidrio esmerilado, incluso en el área que rodea a la región central de la cruz. El efecto resulta especialmente vigoroso en una rejilla de varias de estas cruces (*i*).

Las luminancias del ambiente (*blanco*), de la cruz (*gris oscuro*) y de la región central (*gris claro*) han de guardar relaciones precisas entre sí; de no ser correctas, el efecto desaparece (*j*). Dicho de otro modo, las ratios de luminancia tienen que ser compatibles con lo que ocurriría en el caso de superficies translúcidas reales (niebla o vidrio esmerilado). El efecto es más llamativo todavía si en la figura existe un elemento cromático (*k*).

Así pues, a pesar de que el sistema visual nada sabe sobre sustracción cromática, si las ratios de luminancia son las correctas, los colores son «arrastrados» juntamente con la difusión de luminancia.

Vemos en *l* otro efecto desconcertante, inventado por Gaetano Kanizsa (1913-1993): el efecto «queso de Gruyère». Si se le echa un vistazo rápido, se ve un gran rectángulo opaco dotado de orificios circulares, superpuesto sobre un rectángulo gris más pequeño, que descansa sobre un fondo negro. Basta un ligero esfuerzo mental para imaginar que el rectángulo gris claro que está por detrás de los orificios constituye, en realidad, un rectángulo blanco translúcido situado por delante de los agujeros, y entonces se empieza a percibir un rectángulo transparente a través del cual se ven gruesos lunares negros en el fondo. Esta ilusión demuestra el profundo efecto que ejercen las influencias de «lo alto hacia abajo» sobre la percepción de superficies; la transparencia que uno ve no está enteramente inducida «desde abajo» a través de un procesamiento jerárquico secuencial de las señales físicas que recibe la retina.

Tomadas en su conjunto, estas demostraciones nos permiten concluir que en el procesamiento visual se halla implantada una notable «sabiduría» acerca de las estadísticas y las leyes físicas de la transparencia, fruto de la selección natural y el aprendizaje. Existen, empero, límites para este saber. El sistema visual se muestra tolerante con colores incompatibles. Es incapaz de aplicar la física de la sustracción cromática, debido en parte a que la sustracción de color evolucionó mucho más tardíamente en los primates y no quedó implantada, y en parte porque, en el dominio de la luminancia, la superposición de colores es mucho menos frecuente en el mundo natural que la transparencia o la translucencia.

Podemos concluir que, si bien el sistema visual puede hacer uso muy afinado de propiedades abstractas, como la física de las razones de luminancia o las estadísticas de segmentación que requiere la transparencia, es «bobo» con respecto a otras características, como el cromatismo, debido a la forma un tanto azarosa en que su «hardware» evolucionó por la selección natural: he aquí una prueba vigorosa en contra del «diseño inteligente».

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 35

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE PERCEPTION OF TRANSPARENCY. Fabio Metelli en *Scientific American*, vol. 230, n.º 4, págs. 90-98, abril de 1974.

ON THE ROLE OF FIGURAL ORGANIZATION IN PERCEPTION OF TRANSPARENCY. J. Beck y R. Ivry en *Perception and Psychophysics*, vol. 44, págs. 585-594, 1988.

PERCEPTION OF TRANSPARENCY IN STATIONARY AND MOVING IMAGES. D. J. Plummer y V. S. Ramachandran en *Spatial Vision*, vol. 7, págs. 113-123, 1993.

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

ha publicado sobre el tema, entre otros, los siguientes artículos:

Física de la inteligencia,
de Douglas Fox
Septiembre 2011

Técnicas para la estimulación del aprendizaje,
de Gary Stix
Octubre 2011

Dossier de arqueología cognitiva,
VV.AA.
Febrero 2012

Plasticidad auditiva,
de V. M. Bajo Lorenzana y F. Rodríguez Nadal
Marzo 2012

La singularidad de cada cerebro,
de F. H. Gage y A. R. Muotri
Mayo 2012

El cerebro sometido a tensión,
de A. Arnsten, C. M. Mazure y R. Sinha
Junio 2012

Borrar los recuerdos dolorosos,
de Jerry Adler
Julio 2012

El proyecto cerebro humano,
de Henry Markram
Agosto 2012

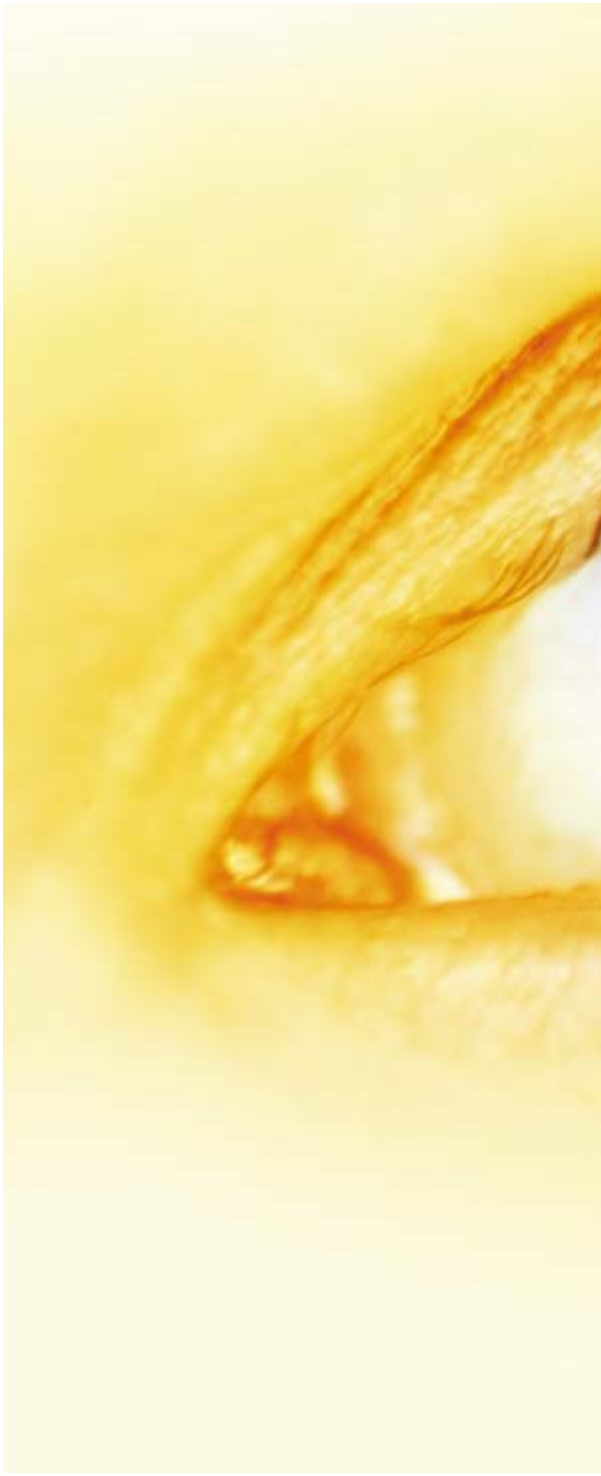
La mente alegre,
de M. L. Kringelbach y K. C. Berridge
Octubre 2012

Prensa Científica, S.A.

Visión en blanco y negro

No es tan fácil la distinción tajante entre una y otra percepción

ALAN GILCHRIST



RESUMEN

Extremos complejos

1 La percepción visual del blanco, el negro y el gris supone un proceso complejo. El cerebro requiere de un punto de referencia (anclaje) para medir los diversos matices.

2 Otra teoría, la de la adaptación al nivel, postula que las tonalidades más claras o más oscuras resultan de la comparación de las luminancias con valores promedio.

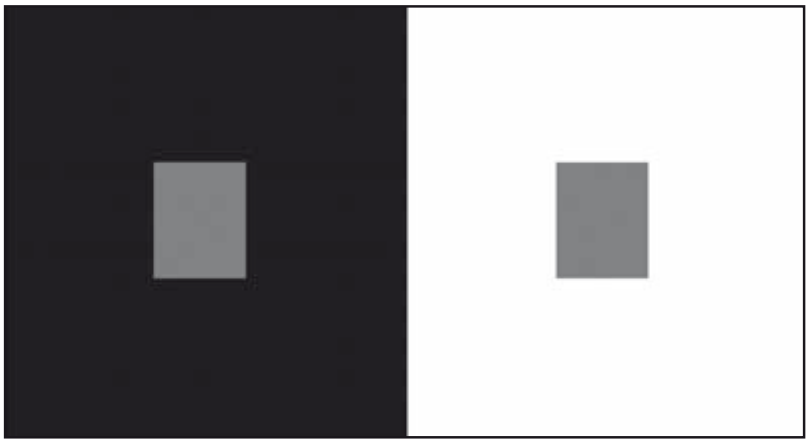
3 Con todo, todavía se desconoce cómo el cerebro determina la regiones de la imagen que han de agruparse y tener un anclaje común.

Es frecuente asociar lo blanco y lo negro a situaciones o hechos de carácter simple y definición clara. Incluso la extrema diferencia que hay entre el blanco y el negro podría hacernos creer que vayamos a percibirlos con igual claridad y sencillez.

Cometeríamos un gran error. Tras la percepción aparentemente fácil de los dos extremos de la gama cromática —la ausencia de color y la integración de todos los colores— se esconde un formidable desafío al cerebro cada vez que miramos una superficie. Bajo una misma iluminación, por ejemplo, el blanco refleja hacia nuestros ojos mucha más luz que el negro. Pero una superficie blanca en la sombra puede muy bien devolver menos luz que una superficie negra expuesta al sol, y a pesar de ello conseguiremos discernir con precisión cuál es blanca y cuál es negra. El cerebro emite ese juicio mediante un programa específico que interpreta el contexto circundante, pero que se halla sumergido en el misterio para neurocientíficos como el propio autor.

Estudios sobre nuestra percepción del blanco y el negro han dejado entrever el modo en que el sistema visual humano analiza la configuración de luz que le llega y calcula correctamente la tonalidad de cada objeto. Además de explicarnos mejor cómo trabaja nuestro cerebro, tal investigación quizá fuese útil para diseñar sistemas de visión artificial en robots. Sabemos que los ordenadores son desastrosos para reconocer formas que las personas distinguen con naturalidad. Un ordenador que tuviese mejor «vista» podría ofrecer nuevos servicios: reconocimiento facial para abrir cerraduras sin llaves, guiarnos por la ciudad, traer el periódico o recoger la basura.

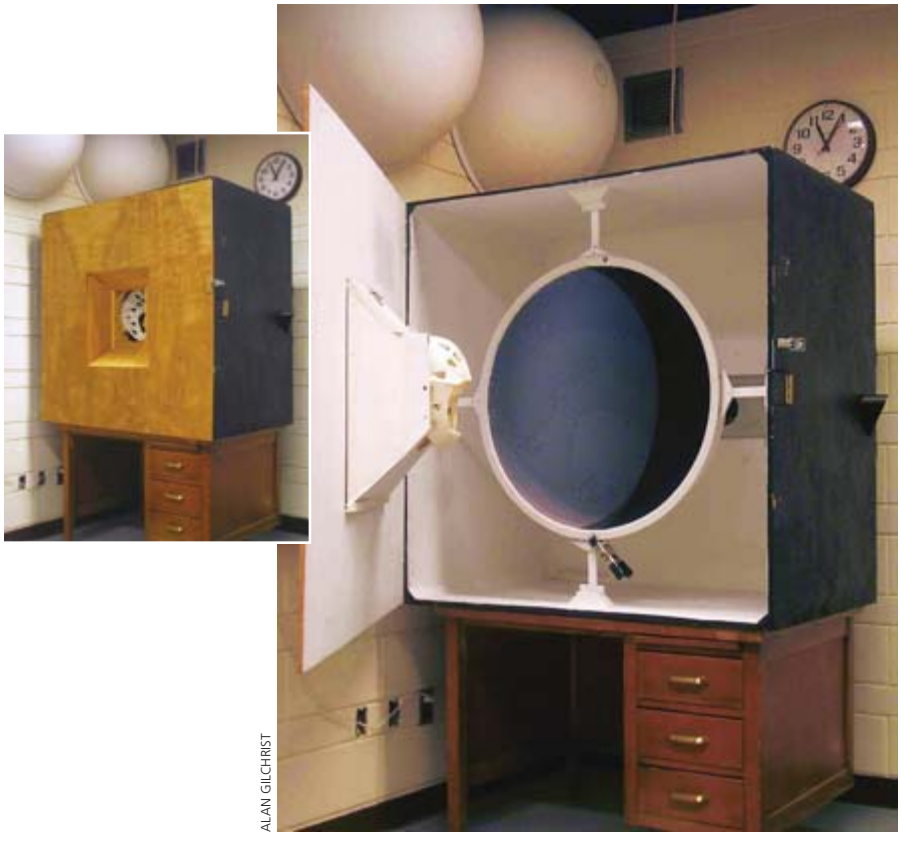
GETTY IMAGES



ALAN GILCHRIST

a. PARECE, PERO NO
El rectángulo gris dentro del panel negro parece más claro que un rectángulo idéntico rodeado por una superficie blanca.

b. CUESTIÓN DE ANCLAJE
Para conocer los «anclajes» que utiliza el cerebro en su apreciación de las diferentes porciones de gris de una imagen, el autor y sus colaboradores construyeron una cavidad semiesférica, pintada por dentro mitad en negro y mitad en gris. Quienes se prestaron a mirar el interior vieron blanca la mitad gris y gris la mitad negra, lo que demuestra que el cerebro toma como anclaje la tonalidad más clara de una escena.



ALAN GILCHRIST

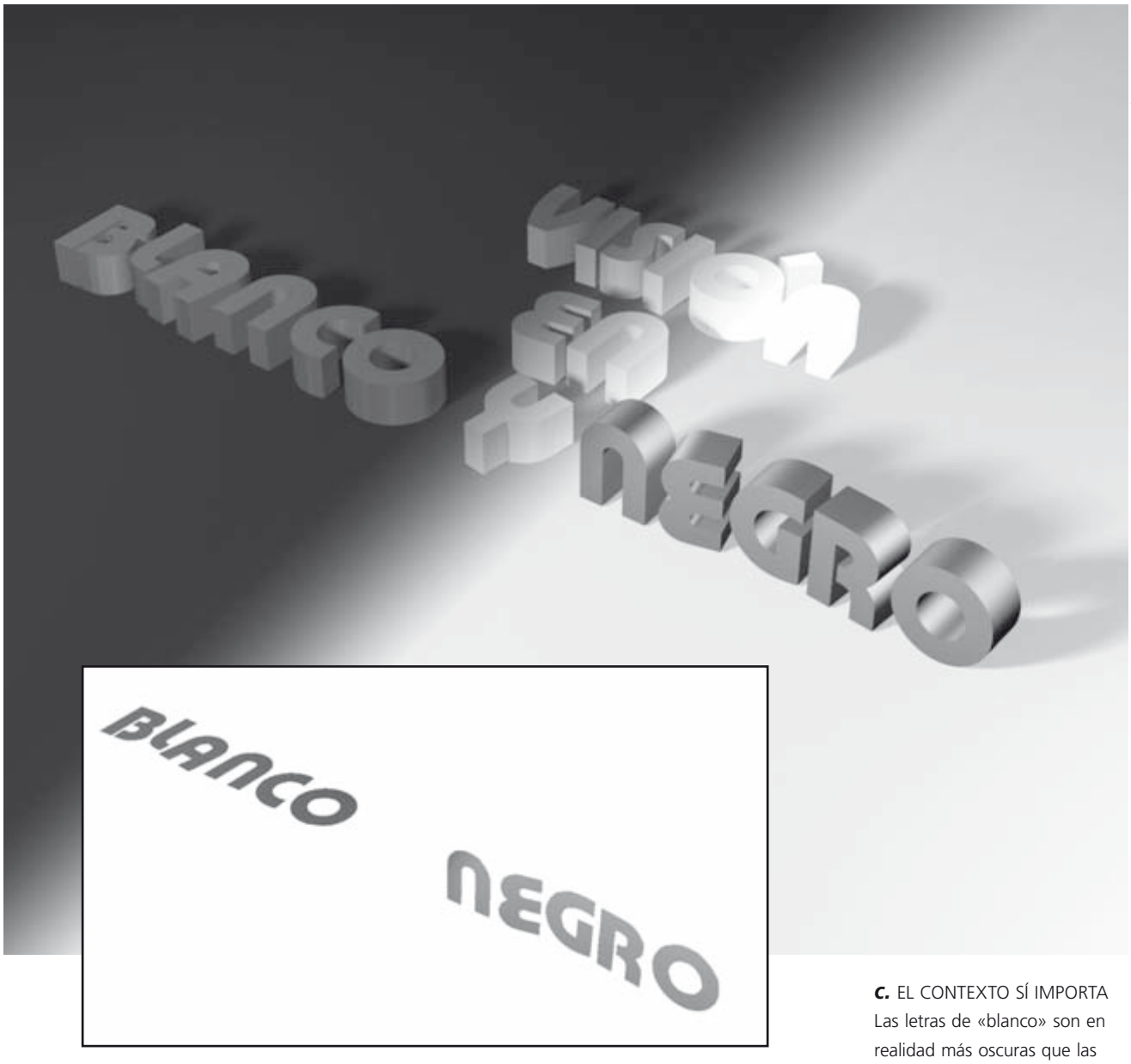
Interrogar al cerebro

Los estudiosos de la visión obligan al cerebro a revelar sus secretos siguiendo un método que podría llamarse psicofísico. Por supuesto, no se le pide que hable en lenguaje llano sino que responda sí o no a veinte preguntas, tales como «¿Trabajas de esta o de aquella manera?» Para obtener una respuesta clara, se empezará formulando al menos dos hipótesis contrapuestas. Después se construirá con sumo cuidado una imagen de prueba que contenga una superficie crítica «objetivo», que según una de las hipótesis deberá parecer gris claro, por ejemplo, y gris oscuro según la otra hipótesis. A menudo estas imágenes encierran sugestivas ilusiones visuales, como se verá más adelante.

Para apreciar mejor la complejidad de ver blanca, negra o gris cierta superficie, conviene recordar conceptos físicos fundamentales. Las superficies blancas reflejan casi toda la luz incidente (alrededor del 90 por ciento). Con ellas contrastan —sin pretender un juego de palabras— las superficies negras que solo reflejan en torno al 3 por ciento de esa luz. Cuando esa luz reflejada entra en el ojo a través de la pupila, el cristalino la enfoca en la superficie posterior interna (retina) en modo muy similar a la luz que penetra en una sencilla cámara de cajón a través de una lente e impresiona una película. Los fotorreceptores de la retina pueden medir la cantidad de luz que les llega.

Hasta ahora, todo resulta normal. Pero sucede que la luz reflejada por el objeto que contemplamos no contiene, en sí misma, ninguna indicación de la tonalidad de gris de ese objeto, y ahí empieza lo interesante.

La cantidad total de luz que recibe el ojo depende mucho más del nivel de iluminación existente en la escena que del porcentaje de luz que refleje cualquier superficie determinada. Aunque bajo una misma iluminación una superficie blanca refleje 30 veces más luz que una superficie negra contigua, esa misma superficie blanca reflejará millones de veces más luz bajo un sol radiante que a la luz de la luna. Es muy fácil que una superficie negra intensamente iluminada envíe más luz al ojo que una superficie blanca en sombra. (Por eso ningún robot actual es capaz de identificar la tonalidad de gris de un objeto comprendido en su campo visual. El robot solo mide la cantidad de luz reflejada por un determinado objeto, la llamada luminancia, pero ahora ya sabemos que cualquier nivel de luminancia puede provenir de cualquier superficie.)



MENTE Y CEREBRO, SEGÚN ALAN GILCHRIST

c. EL CONTEXTO SÍ IMPORTA Las letras de «blanco» son en realidad más oscuras que las letras de «negro» (*arriba*), como queda claro al suprimir lo que las rodea (*inserto, abajo*).

Reconociendo que la luz reflejada por el propio objeto no contiene suficiente información, Hans Wallach (1904-1998) sugería en 1948 que el cerebro determinaba la tonalidad de gris de una superficie por comparación con la luz que recibe de superficies contiguas. Los estudios que dirigiera Wallach, primo de Albert Einstein, durante su larga estancia profesoral en el Colegio de Swarthmore aportaron mucho al conocimiento de la percepción visual y auditiva: demostró que un mismo disco homogéneo podía manifestar cualquier tonalidad entre negro y blanco sin más que cambiar la intensidad de la luz circundante.

Una clásica ilusión visual consiste en colocar un cuadrado gris sobre un fondo blanco, junto a otro cuadrado gris idéntico sobre fondo negro (*figura a*). Si la luminosidad percibida dependiera únicamente de la cantidad de luz reflejada, los dos cuadrados se verían en la misma tonalidad. Sin embargo, el de fondo negro parece más claro, lo que nos demuestra que el cerebro compara con las superficies adyacentes.

Según pruebas más recientes, esta comparación con las superficies contiguas puede ser aún más sencilla de lo que pensaba Wallach. En lugar de medir la intensidad de luz en cada punto de la escena, el ojo parece que comienza por medir solo el cambio de luminancia en cada borde de superficie.

Wallach demostró que la luminancia relativa de dos superficies adyacentes constituye un elemento importante de la cuestión. Pero conocer esta propiedad todavía deja un gran margen de

ALAN GILCHRIST

d. TRES DISCOS IDÉNTICOS Pegados en diferentes puntos de la fotografía, los círculos aparecen con tonalidades distintas, demostrando que el cerebro aplica un anclaje diferente en cada región de iluminación.

ambigüedad. Dicho de otro modo, si el brillo de una zona de la escena quintuplica el de otra zona contigua, ¿cómo interpreta esto el ojo? Los tonos de una y otra podrían ser el gris medio y el negro, pero también el blanco y el gris. Así, la luminancia relativa por sí misma solo puede informar de la diferencia entre dos tonalidades, pero no el matiz específico de cada una. Para determinar el gris exacto de una superficie, el cerebro requiere algo más: un punto de referencia respecto al cual medir los diversos matices, lo que ahora llamamos una regla de anclaje.

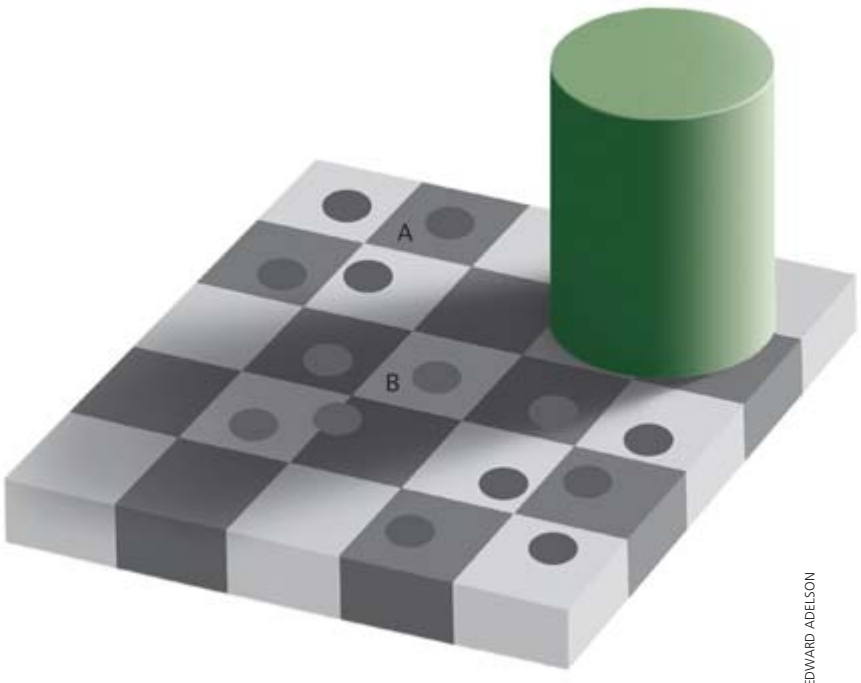
Una regla de anclaje propuesta por el propio Wallach, y más tarde por Edwin Land (1909-1991), inventor de la fotografía instantánea, establece que la luminancia más intensa de una escena automáticamente se vea como blanco. De ser cierta, fijaría un patrón al cerebro para comparar todas las luminancias de valor inferior. Otra regla se basa en la teoría de adaptación al nivel, creada en los años cuarenta por Harry Helson (1898-1977). Parte del supuesto de que la luminancia promedio de una escena se perciba siempre como un gris intermedio, y que por tanto las tonalidades más claras y más oscuras resulten de la comparación de esas luminancias con el valor promedio. Los que trabajan en visión artificial la denominan «hipótesis del mundo gris».

¿Quién estaba en lo cierto? Mi equipo de la Universidad de Rutgers se propuso averiguarlo en 1994. Para ello ideamos un ensayo de estas reglas en las condiciones más sencillas posibles: dos superficies grises que cubrieran todo el campo visual de un observador. Pedimos a unos voluntarios que introdujeran la cabeza en un amplio hemisferio opaco, con el interior pintado de un tono gris medio en la mitad izquierda y de negro en la derecha. El hemisferio estaba colgado dentro de una gran sala rectangular con lámparas que creaban una iluminación difusa para el observador.

Recuérdese que el cerebro no sabía en aquel momento cuáles eran las tonalidades de gris,

sino únicamente su luminancia relativa. Si la regla de anclaje del cerebro se basara en la luminancia máxima, el tono gris medio se vería blanco y el negro, gris medio. Si, por el contrario, la base fuera el promedio de la luminancia, el gris medio aparecería como gris claro y el negro como gris oscuro. Un observador no vería blanca ni negra ninguna de las mitades del hemisferio.

Los resultados fueron terminantes. La mitad de tono gris medio se vio totalmente blanca, y la mitad negra apareció en gris medio (*figura b*). Esto es, nuestra escala de percepción del gris está «anclada» en su extremo superior, no en su punto medio; podemos así intuir cómo procesa el cerebro la gradación de grises en escenas sencillas. La luminancia más intensa aparece como blanca, mientras que la tonalidad gris con que se percibe una superficie más oscura depende de la razón entre su propia luminancia y la de la superficie de luminancia máxima.



EDWARD ADELSON

Diferentes anclajes

Cabe preguntarse si valdrá este sencillo algoritmo para las escenas de la vida real, harto más complejas. No puede extrañarnos que la respuesta sea negativa. Si el cerebro se limitara a comparar la luminancia de cada superficie con la máxima luminancia de la escena total, parecerían de idéntica tonalidad una superficie negra expuesta a luz intensa y una blanca en la sombra, siempre que ambas tuvieran la misma luminancia como sucede a menudo. Pero esto no es cierto: podemos discernir entre una y otra. El sistema visual debe, pues, aplicar un sistema de anclaje diferente en cada región de iluminación.

Ciertamente, el análisis de numerosas ilusiones visuales demuestra las variaciones del anclaje. Si se pegan varios discos grises idénticos en una fotografía con muchas zonas de luz y de sombra, los discos situados sobre sombras parecerán mucho más claros que los que cubren luz solar (*figura d*). Podemos llamarlos «discos sonda», porque nos permiten apreciar de qué modo procesa el sistema visual los tonos grises en cualquier parte de la escena. Dentro de una región de iluminación determinada, poco importa la situación exacta del disco, que aparece más o menos con el mismo tono de gris en toda la región.

A efectos funcionales, cada región parece poseer su propio anclaje: la luminancia en la que el cerebro percibe como blanca una superficie. Programar un robot para procesar imágenes de este modo comporta un magno desafío. Hay que fraccionar la imagen en regiones separadas con iluminaciones diferentes, y para ello el sistema visual ha de determinar dentro de la imagen los contornos que representan un cambio en la pigmentación de la superficie, y los que, a semejanza de las líneas que bordean una sombra, implican una alteración del nivel de iluminación. Este programa, por ejemplo, podría clasificar como borde la transición entre regiones de iluminación diferentes si fuera borrosa o como esquina si presentara una rotura plana.

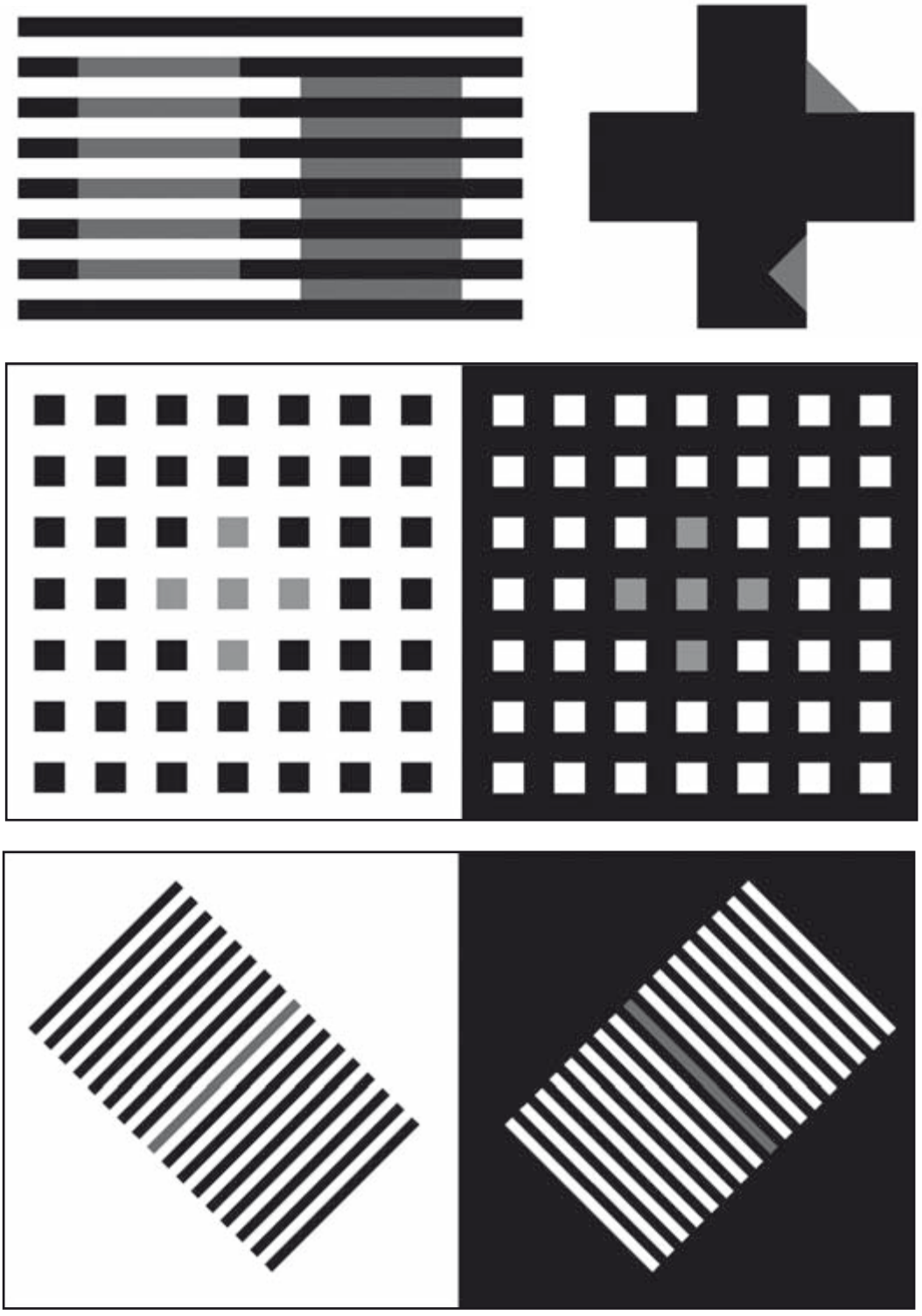
Ciertos teóricos como Barbara Blakeslee y Mark McCourt, de la Universidad estatal de Dakota del Norte, sostienen que el sistema visual humano tampoco necesita utilizar este tipo de clasificación de bordes, y defienden el filtrado espacial, un proceso menos artificioso. Según ellos, en nuestra imagen con discos grises, por ejemplo, la tonalidad de cada disco dependería sobre todo del contraste de luminancia local en el borde del mismo (en modo muy parecido a la primera propuesta de Wallach). Observaron que cada disco en la fotografía aparentaba una tonalidad solamente impuesta por la dirección e intensidad del contraste de luminancia entre ese disco y el fondo subyacente.

Nos confirman esta sencilla idea unos discos colocados sobre las casillas de un tablero parcialmente en sombra (*figura e*). Aparecen con tonalidades diferentes discos que tienen idénticos contrastes locales. Por otro lado, un mismo tono gris puede observarse en discos con diferentes contrastes locales.

e. ¿MÁS O MENOS GRIS? Todos los discos son idénticos, pero los que están a la sombra parecen de un gris más claro. Los discos de los cuadros A y B muestran diferentes tonalidades de gris, aunque tienen idénticos contrastes locales (los cuadros A y B poseen la misma luminancia, aunque no lo parezca). Sin embargo, los discos situados a la izquierda y la derecha de la letra B se dirían iguales, pero tienen contrastes locales diferentes.

El poder de los grupos

En cada una de las ilusiones ópticas siguientes hay regiones grises idénticas que parecen distintas dependiendo de que estén rodeadas de negro o de blanco. Estos efectos no pueden atribuirse únicamente al contraste entre regiones adyacentes, puesto que el contraste por sí solo debería hacernos percibir más oscuro el gris rodeado de blanco que el gris rodeado de negro. En cambio, la «inclusión» de una región dentro de otra parece ser el factor crítico para que el cerebro determine una tonalidad gris.



MICHAEL WHITE (*arriba a la izquierda*); MAX WERTHEIMER Y WILHELM BENARY (*arriba a la derecha*); PAOLA BRESSAN, UNIVERSIDAD DE PADUA (*centro*); ELIAS ECONOMOU, UNIVERSIDAD DE CRETA (*abajo*)

Todas las piezas unidas

Consideremos otra ilusión visual, que arroja luz sobre el modo en que el cerebro decide los elementos que han de agruparse cuando discrimina patrones luminosos. Imaginemos un signo «más» negro, con dos triángulos grises (*véase el recuadro de la página anterior*). Uno de los triángulos se encaja en la zona blanca limitada por el «codo» de la cruz; el otro se inserta dentro de una de las barras negras. Los dos triángulos grises, idénticos, se hallan rodeados por superficies idénticas: blancas por la hipotenusa y negras por ambos catetos. Pero el triángulo de abajo, dentro de la barra negra, «pertenece» a la cruz negra, mientras que el de arriba parece formar parte del fondo blanco inmediato. Fijémonos en las intersecciones de bordes. Cuando se juntan bordes formando una especie de unión en T, el cerebro parece asociar las regiones divididas por el brazo vertical de la T, pero no las que separa el brazo horizontal.

Esta interpretación de las uniones en T como guía para que el cerebro establezca grupos se aplica a otra ilusión óptica, creada por Michael White, por entonces en el Centro de Enseñanza Superior de Tasmania. Comprende una serie de barras negras horizontales apiladas, con espacios blancos interpuestos. Las barras grises con más negro que blanco alrededor parecen más oscuras (no más claras) que las barras grises rodeadas en su mayoría por blanco. Las uniones en T situadas en las esquinas de las barras grises sugieren que las barras grises de la izquierda están en el mismo plano que el fondo blanco; en cambio, las de la derecha parecen pertenecer al plano de las barras negras.

Paola Bressan, del departamento de psicología de la Universidad de Padua, creó un efecto de «calabozo», que profundiza en los mecanismos de agrupación del cerebro. Los cuadrados grises del recuadro «El poder de los grupos», en su centro derecha, rodeados de negro, aparecen más oscuros que los del centro izquierda que están incrustados en blanco.

Este efecto puede obedecer a que los elementos grises de la derecha parezcan estar en el mismo plano que el fondo blanco, y no así las barras negras de la reja carcelaria. A la misma conclusión llega un efecto de contraste inverso ideado por Elias Economou, de la Universidad de Creta. La barra gris (*mismo recuadro, abajo, a la derecha*) aparece más oscura, pese a estar totalmente rodeada de negro, probablemente porque forma parte del grupo de barras blancas.

Estos divertidos efectos conducen también a una conclusión importante: para determinar los niveles de gris percibidos el cerebro no puede limitarse a comparar las luminancias de dos superficies contiguas. Tiene que hacer intervenir el contexto de un modo muy refinado. El hecho de que la mayoría de la gente no se entere de la dificultad del problema atestigua el extraordinario logro que supone el sistema visual humano.

Una visión de conjunto

El consenso científico sobre el proceso cerebral del blanco y el negro sigue todavía sin alcanzarse. En la actualidad existen tres clases de teorías, de niveles alto, medio y bajo. Las de bajo nivel se basan en unos mecanismos neuronales de filtrado espacial que codifican el contraste local, pero fallan en la predicción de las tonalidades de gris que ve la gente. Las teorías de alto nivel tratan la computación de los tonos grises a la manera de un proceso intelectual inconsciente en el que automáticamente se toma en cuenta la intensidad de la luz que ilumina una superficie. Estos procesos pueden atraer intuitivamente pero no nos explican qué parte del cerebro interviene ni la manera de programar un robot. Las teorías de nivel medio analizan múltiples marcos de referencia dentro de cada escena, cada uno con su anclaje propio. Estas teorías especifican las operaciones de procesamiento de los tonos blancos, negros y grises mejor que las de alto nivel; además, explican la percepción humana de las superficies grises más satisfactoriamente que las de bajo nivel.

Para que podamos entender de verdad este aspecto de la visión —o programar un robot para que actúe como nuestro sistema humano— necesitaremos, sin embargo, comprender mejor la manera de procesar las transiciones. El ojo humano, igual que el robot, empieza por un análisis bidimensional de la escena. ¿Cómo determina las regiones de la imagen que han de agruparse y tener asignado un anclaje común? Los científicos de la visión seguirán formulando hipótesis y las someterán a prueba. Así, paso a paso, obligaremos al sistema visual a revelar sus secretos.

La decodificación de los procesos visuales humanos tal vez sea el mejor camino que se nos ofrece para la construcción de robots. Pero aún tiene más importancia el que nos deje entrever cómo trabaja el cerebro.

Alan Gilchrist es profesor del departamento de psicología en la Universidad de Rutgers.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 23

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE PERCEPTION OF NEUTRAL COLORS. Hans Wallach en *Scientific American*, vol. 208, n.º 1, págs. 107-116, enero de 1963.

LA PERCEPCIÓN DE LOS BLANCOS Y NEGROS DE LAS SUPERFICIES. Alan Gilchrist en *Investigación y Ciencia*, págs. 58-70, mayo de 1979.

LIGHTNESS PERCEPTION. ALAN GILCHRIST EN MIT ENCYCLOPEDIA OF COGNITIVE SCIENCES. Preparado por R. A. Wilson y F. C. Keil. M.I.T. Press, 1999.

SEEING BLACK AND WHITE. Alan Gilchrist. Oxford University Press, 2006.

Ver es creer

Póngase a prueba para aprender lo que las sombras nos revelan sobre el cerebro

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

© ISTOCKPHOTO / OANA VINATORU

CAMUFLAJE NATURAL
El lomo oscuro y el abdomen claro de esta oruga hacen más difícil su detección.

La imagen visual es intrínsecamente ambigua: la de una persona en la retina sería del mismo tamaño, ya se tratase de un enano visto desde cerca como de un gigante a mayor distancia. La percepción consiste, en parte, en la aplicación de ciertas hipótesis concernientes al mundo con el fin de resolver este tipo de ambigüedades. Ello da ocasión a utilizar las ilusiones para traer a primer plano las reglas e hipótesis que el cerebro contiene y aplica. En este artículo nos ocuparemos de ilusiones debidas al sombreado.

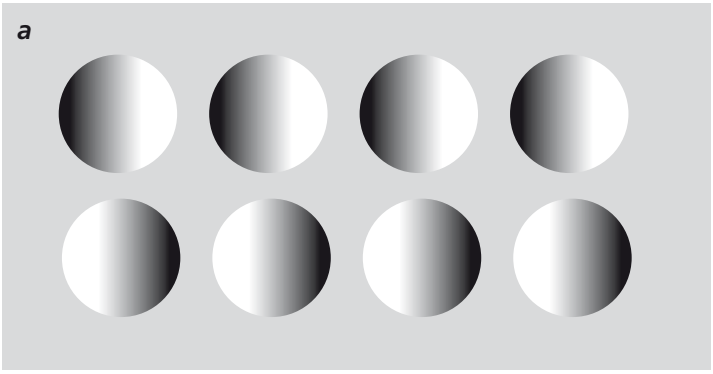
En *a*, los discos son ambiguos: podemos imaginar que los de la hilera superior corresponden a esferas convexas, o «huevos», iluminados desde la derecha, y que los de la hilera inferior son alvéolos, concavidades. Pero podemos también concebir estos discos a la inversa, pues trasladando mentalmente la fuente luminosa de la derecha a la izquierda resulta fácil conseguir que alvéolos y huevos truequen sus papeles. Esta observación revela que los centros visuales del cerebro cuentan con una presunción implícita, a saber, que toda la imagen se halla iluminada por un solo punto de luz, una hipótesis razonable, pues hemos evolucionado en un planeta que tiene un único sol.

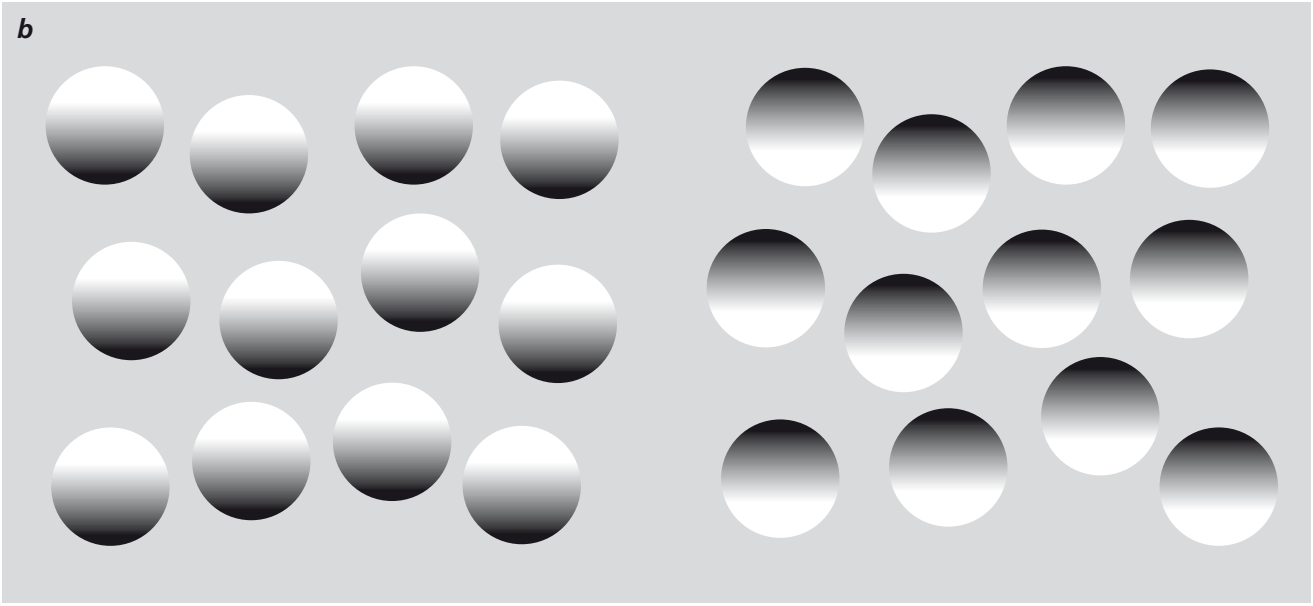
La imagen *b* todavía es más convincente. En este caso los discos que son de color claro en lo alto (*izquierda*) siempre parecen huevos; los de tono claro en su parte baja (*a la derecha*) son alvéolos. Hemos descubierto así otra de las premisas que aplica el sistema visual, a saber, que la iluminación procede de lo alto. Para comprobar que es así, basta volver la página cabeza abajo. Huevos y alvéolos intercambian al instante sus papeles.

Sorprendentemente, la premisa cerebral de que la luz procede de lo alto de la cabeza se conserva incluso cuando la cabeza se voltea 180 grados. Pídale a un amigo que se sitúe a su espalda sosteniendo la página en su posición vertical normal. Dóblese usted hacia delante, hasta mirar por entre las piernas a la página que su amigo está sosteniendo. Descubrirá entonces que el trueque vuelve a producirse, como si el Sol estuviera pegado a su cabeza y su luz viniera desde el suelo hacia arriba. Señales procedentes del centro de equilibrio de su cuerpo —el sistema vestibular— suscitadas por las posiciones de unos diminutos cálculos —los otolitos— que posee nuestro oído interno, viajan hasta los centros visuales de su cerebro para corregir la imagen del mundo que está viendo (con lo que el mundo mantiene su posición vertical), pero no corrigen la ubicación del Sol.

Este experimento nos enseña que la visión, aunque produzca la impresión de constituir un todo sin fisuras, se halla mediada por una multitud de módulos cerebrales de procesamiento en paralelo. Algunos de estos módulos se encuentran conectados con el sistema vestibular; sin embargo, el encargado de asociar formas a las sombras no lo está. La razón podría consistir en que corregir la ubicación de una imagen en lo que se denominan «coordenadas centradas en el mundo» resultaría demasiado costoso desde el punto de vista computacional, y exigiría demasiado tiempo. Nuestros antepasados solían mantener la cabeza erecta, por lo que el cerebro podía acertar aplicando

La evolución, a lo largo de millones de años, ha «descubierto» y sacado partido de los principios de sombreado que solo recientemente han empezado a ser estudiados





NADIA STRASSER

esta hipótesis simplificadora. Es decir, nuestros antepasados pudieron criar a sus niños hasta la madurez con la frecuencia suficiente para que no actuasen presiones selectivas que desembocasen en la corrección vestibular.

Al mirar *c*, se aprecia que mentalmente es posible agrupar todos los huevos de forma casi instantánea, y distinguirlos de los alvéolos. Los estudiosos de la visión descubrieron, hace ya decenios, que solo ciertos rasgos elementales, extraídos al poco de empezar el procesamiento visual «resaltan» de forma conspicua y pueden ser agrupados de este modo. Nuestro cerebro puede discernir, por ejemplo, un conjunto de lunares rojos sobre un fondo de lunares verdes, pero no, en cambio, rostros sonrientes repartidos aleatoriamente sobre un fondo de rostros ceñudos. El color constituye, pues, un rasgo primitivo, que es extraído muy al principio; la sonrisa, en cambio, no lo es.

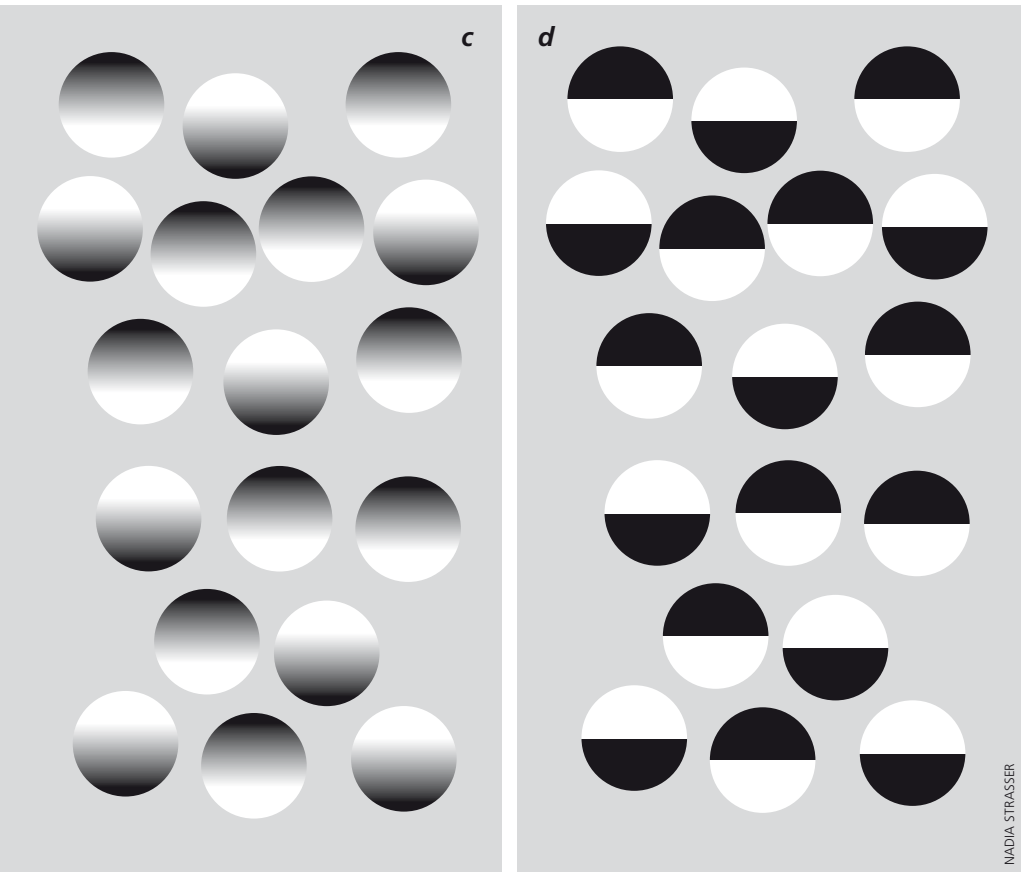
(La capacidad para ensamblar fragmentos de color parecido posee un claro valor para la supervivencia. Un león agazapado tras una fronda de matorrales verdes se hace visible como una serie de fragmentos pardos, pero el cerebro visual ensambla las piezas en una figura, con forma de león, y lanza el mensaje: ¡Huye enseguida! Por otra parte, los objetos no están compuestos por sonrisas.)

De la capacidad para agrupar los huevos de *c* se deduce que la información sobre

© ISTOCKPHOTO / EWEN CAMERON

CUESTIÓN DE SUPERVIVENCIA

El cerebro ensambla de forma automática fragmentos de color igual o parecido. Por eso localizamos fácilmente al león agazapado tras el follaje.



las sombras, al igual que la información sobre los colores, se extrae en los primeros estadios del procesamiento visual. Este pronóstico se confirmó, hace pocos años, mediante el registro de la actividad de las neuronas de monos y con experimentos de técnicas de formación de imágenes en humanos. Ciertas neuronas de la corteza visual se excitan cuando el observador ve huevos; otras, en cambio, responden a cavidades.

En *d*, donde los círculos tienen las mismas polaridades de luminancia que en *c*, no se percibe el agrupamiento; este hecho sugiere cuán importante es la percepción de la profundidad, pues las señales correspondientes se extraen ya en las primeras etapas del procesamiento visual.

Obviamente, la evolución, a lo largo de millones de años, ha «descubierto» y sacado partido de los principios de sombreado que los investigadores han empezado a estudiar hace poco. Las gacelas tienen blanca la panza y oscuro el lomo —contrasombreado— que neutraliza el efecto de la luz solar desde lo alto. El resultado es reducir el contraste respecto al fondo, lo que las hace menos conspicuas; también las hace parecer más delgadas y menos apetecibles para los depredadores. Las orugas presentan contrasombreado, con lo que se parecen más a las hojas lisas sobre las que reptan cuando se alimentan. Existe una especie de oruga dotada de «contrasombreado inverso», algo que parecía carecer de sentido hasta que los biólogos se percataron de que esa oruga permanece habitualmente suspendida de ramitas.

Existe un tipo de pulpo que puede incluso invertir su contrasombreado: al ser colgado cabeza abajo, utiliza sus cromatóforos, células de su epidermis que producen pigmentos en función de las señales que emite el sistema vestibular; el pulpo trueca entre sí las zonas más claras y las más oscuras.

Charles Darwin (1809-1882) observó un llamativo ejemplo de sombreado en la naturaleza: los ocelos, de forma circular, que exhibe el plumaje de las largas colas del argo real, una especie de faisán de gran tamaño. Cuando la cola se halla en reposo, horizontal, los ocelos tienen tonos difusos. Pero durante las exhibiciones de cortejo, las plumas de la cola se abren erectas. En esta posición, los ocelos son más pálidos en lo alto, y más oscuros en su parte baja, por lo que los discos parecían sobresalir como brillantes esferas metálicas, la equivalencia aviaria de nuestras joyas.

Que unos cuantos sencillos círculos sombreados pongan al descubierto los fundamentos interpretativos subyacentes a nuestros sistemas visuales —e incluso el papel que tales principios han desempeñado en adaptaciones evolutivas— permite apreciar la potencia de las ilusiones ópticas para ayudarnos a comprender la naturaleza de la percepción.

La visión, aunque dé la impresión de un todo sin fisuras, se halla mediada por una multitud de módulos cerebrales

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 41

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PERCEPCIÓN DE LA FORMA A PARTIR DEL SOMBREADO. Vilayanur S. Ramachandran en *Investigación y Ciencia*, octubre de 1988.

ON THE PERCEPTION OF SHAPE FROM SHADING. D. A. Kleffner y V. S. Ramachandran en *Perception and Psychophysics*, vol. 52, n.º 1, págs. 18-36, julio de 1992.

NEURAL ACTIVITY IN EARLY VISUAL CORTEX REFLECTS BEHAVIORAL EXPERIENCE AND HIGHER-ORDER PERCEPTUAL SALIENCY. Tai Sing Lee, Cindy F. Yang, Richard D. Romero y David Mumford en *Nature Neuroscience*, vol. 5, n.º 6, págs. 589-597, junio de 2002.

Sombras huidizas en la encrucijada

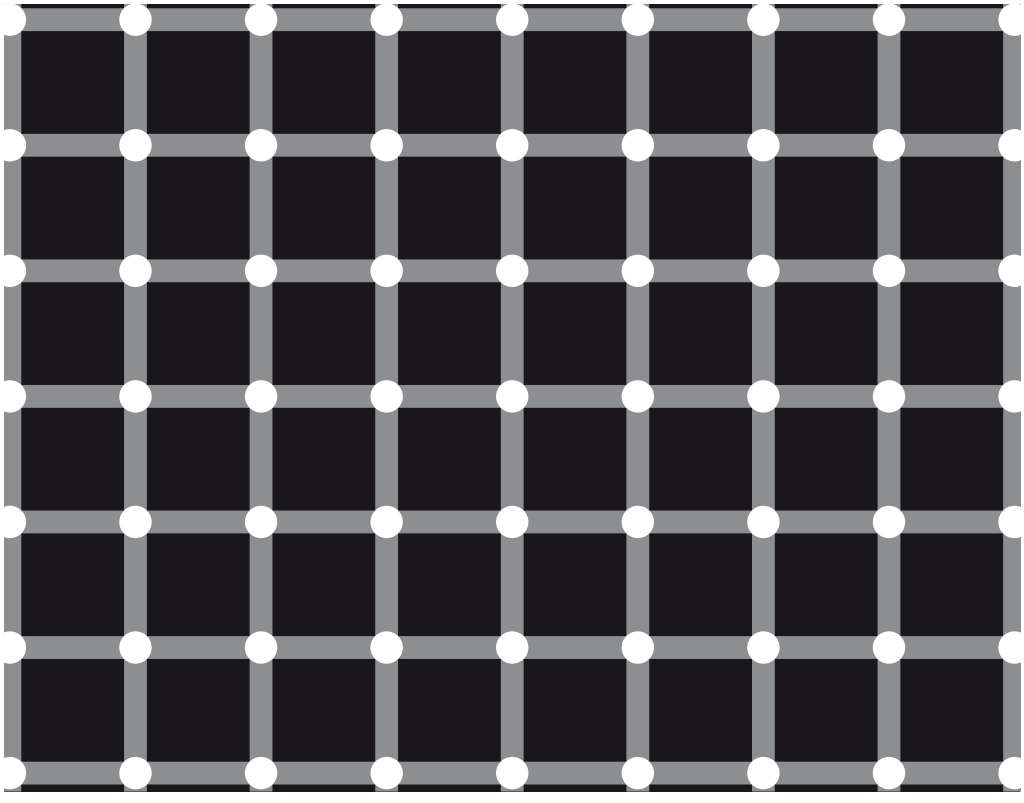
Hace tiempo que se resolvió la ilusión de la rejilla de Hermann. Pero bastó una, en 2004, para refutar la explicación dada y poner a los psicólogos de la percepción de nuevo ante el enigma

RAINER ROSENZWEIG

Cuadrados oscuros en cuyos vértices resaltan unas manchas grises. Hablamos de la rejilla de Hermann, que se cuenta entre las ilusiones de la percepción más célebres. Descrita en 1844 por el físico escocés sir David Brewster (1781-1868), la ilusión despertó en 1870 la atención del fisiólogo alemán Ludimar Hermann (1838-1914), quien la había encontrado por casualidad al detenerse en cierta ilustración de un libro de física. De ahí que solo la mencionara de paso en un comentario. La ilusión desapareció nuevamente del escenario.

Hasta mediados del siglo XX, cuando fue redescubierta por los psicólogos de la percepción. Comenzaron estos a producir variaciones, que ofrecían todas un efecto similar. En la ilusión original, el fondo blanco forma «calles» claras entre filas y columnas regulares de cuadrados negros, en cuyas intersecciones surgen borrosas manchas oscuras; curiosamente se dan solo allí donde no se ha dirigido la mirada, es decir, en la periferia del campo de visión. ¿Cómo se originan estas sombras huidizas?

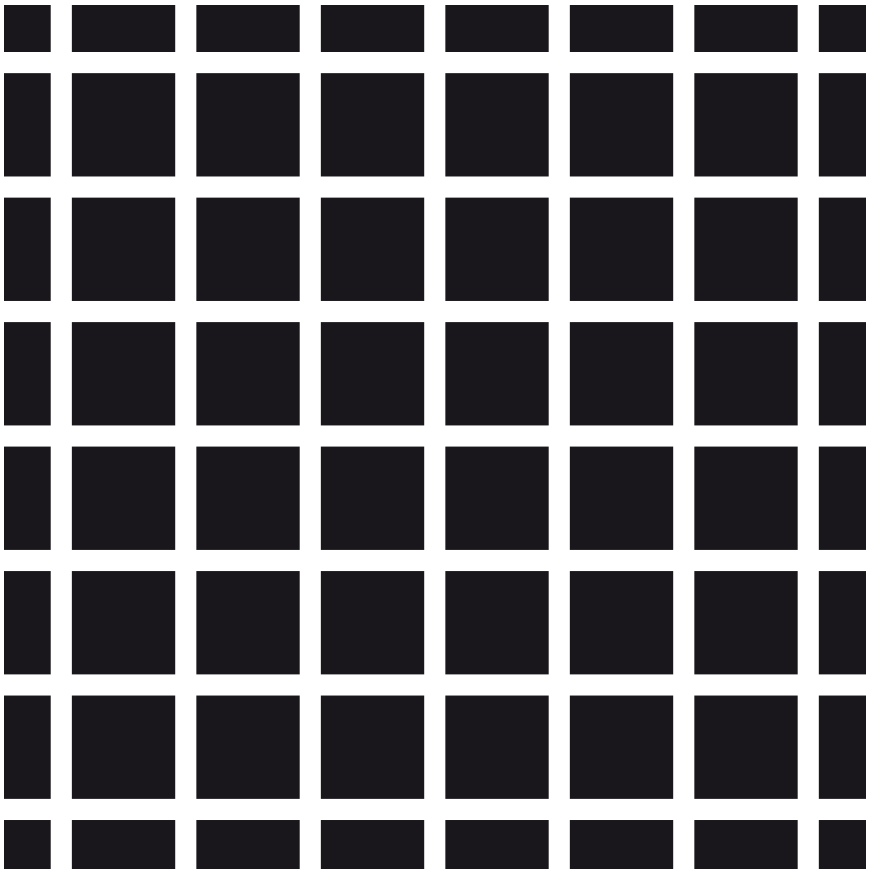
En 1960, Günter Baumgartner, neurofisiólogo, propuso una explicación coherente y plausible del fenómeno. Se basó en las informaciones de las neuronas del sentido de la vista, que son procesadas en la propia retina por células ganglionares. Estas reciben señales de un área circular próxima de la retina, el campo receptor de las células ganglionares, que se encuentra delimitado



CORTESÍA DE BERND LINGELBACH

***a.* REJILLA DE LINGELBACH**

En la variante de la rejilla de Hermann obtenida en 1995 por Elke y Bernd Lingelbach, así como por Michael Schrauf, aparecen entremezclados puntos negros vacilantes en los círculos blancos de las intersecciones. En diciembre de 2000 fue difundida la muestra por correo electrónico invitando a contar los puntos negros como votos para Al Gore y los blancos para George W. Bush y a volver a controlar el resultado, en alusión al nuevo recuento de votos en las elecciones presidenciales de EE.UU. De ese modo llegó la ilusión de marras a todos los lugares del mundo.



CORTESÍA DE BERND LINGELBACH

b. REJILLA DE HERMANN

En las intersecciones de las líneas claras saltan a la vista unas manchas oscuras que desaparecen si dirigimos a ellas la mirada. La ilusión recibe su nombre del fisiólogo alemán Ludimar Hermann, que la mencionó ya en 1870.

por un dominio interior y otro exterior, de forma anular.

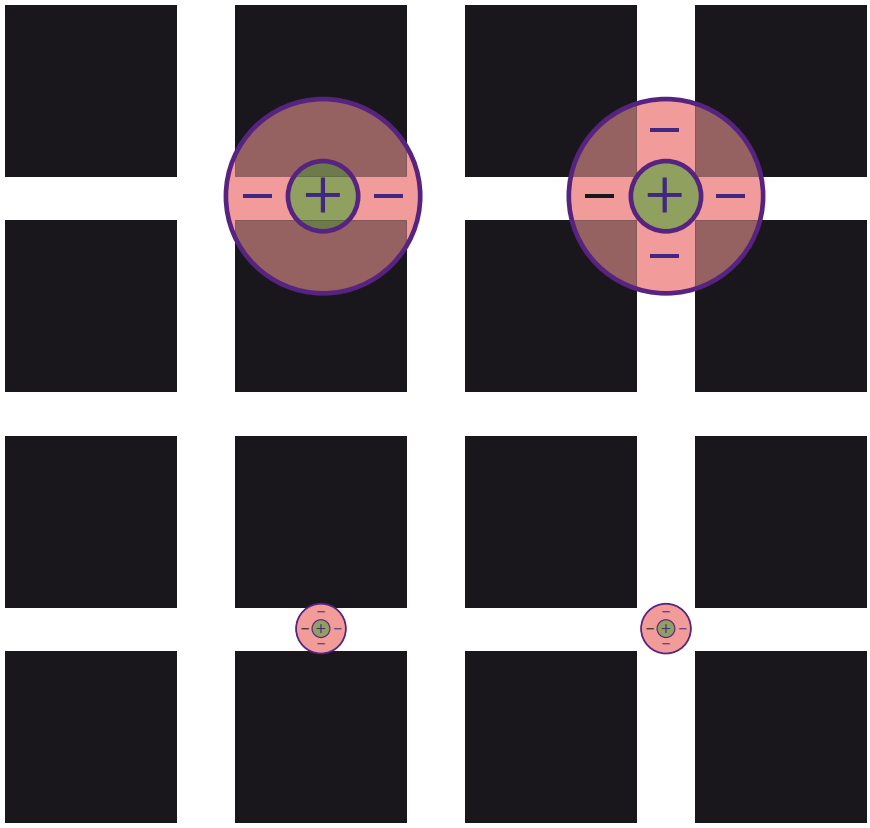
Para explicar la ilusión óptica de la rejilla de Hermann, Baumgartner se apoyó en cierto tipo especial de células ganglionares: las células de centro activo (o centro-*on*), que reaccionan con particular intensidad cuando el dominio interior del campo receptor es estimulado, pero no así el exterior. Las células de centro inactivo (centro-*off*) se comportan exactamente al revés. Este preprocesamiento le facilita al sistema de visión un procesamiento eficaz de los cambios operados en el medio; por ejemplo, identificar escalones y bordes en condiciones ópticas difíciles (cuando hay niebla).

Ahora bien, en la rejilla de Hermann, al ocupar un «cruce» una única célula de centro-*on* (*figura c, arriba a la derecha*), el dominio exterior del campo receptor se excita con mayor intensidad que si estuviera apuntando a la mitad entre dos cuadrados (*figura c, arriba a la izquierda*). Correspondientemente, la célula envía al cerebro una señal algo más débil. Esta diferencia en la señal es la responsable de las manchas oscuras en las intersecciones, según Baumgartner.

El modelo explica también por qué el fenómeno se produce solo en la periferia del campo de visión y no donde enfoca-

c. EL MODELO ANTIGUO

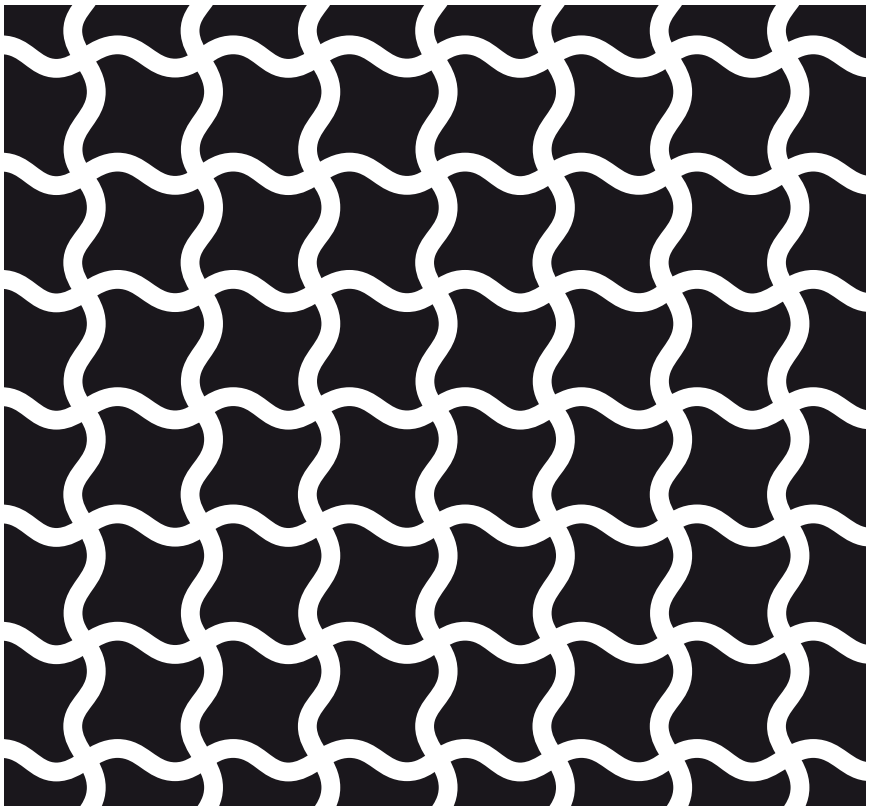
Según la explicación clásica dada por Günter Baumgartner sobre la ilusión de la rejilla de Hermann, las respuestas dispares de las células de centro-*on* de la periferia del campo de visión originan las manchas oscuras (*arriba*): la luz en el dominio marcado en verde del campo receptor estimula las neuronas (+), la luz en el dominio marcado en rojo conduce a la inhibición (–). En el dominio de visión más aguda de la retina, en la fóvea, los campos receptores son más pequeños, por eso las respuestas celulares al focalizar directamente no se diferencian y el efecto desaparece (*abajo*).



CORTESÍA DE MICHAEL BACH

d. LA REFUTACIÓN

En esta variante de János Geier de la rejilla de Hermann no aparece la ilusión, aunque, según el modelo de Baumgartner, las células de centro-*on* deberían producir también aquí manchas oscuras en las intersecciones. No existe un modelo universalmente aceptado que pueda explicar este fenómeno de manera satisfactoria.



CORTESÍA DE BERND LINGELBACH

mos la mirada. Si nos fijamos en algo, la imagen cae en la zona de visión más aguda de la retina: la fóvea. Allí, la densidad de neuronas visuales se multiplica por la concentración existente en las áreas normales del campo de visión. Los campos receptores de las células ganglionares responsables de la fóvea son también mucho menores y, por tanto, no registran diferencia alguna entre «calle» y «cruce» (*figura c, abajo*).

La ilusión truncada

Los investigadores de la percepción recogieron entusiasmados la explicación de Baumgartner, que les brindaba la posibilidad de medir los campos receptores mediante la variación de la rejilla y de estudiarlos con más detalle. La rejilla de Hermann se convertirá en adelante en uno de los objetos de investigación más populares entre los psicólogos de la percepción.

Pero, apenas hace ocho años, se produjo un hecho inquietante. El grupo de investigación dirigido por János Geier, del Instituto de Investigación sobre Estereovisión en Budapest, presentó en el verano de 2004 una variante revolucionaria de la rejilla de Hermann, inequívoca y elegante. La imagen rompió la quietud de los investigadores de la percepción. Bastó una simple deformación de las «calles» de la rejilla de Hermann para que no se presentara la ilusión: las manchas grises habían desaparecido (*figura d*). Según el modelo de Baumgartner las zonas oscuras deberían también aparecer en las intersecciones de la nueva variante de la rejilla.

Cierto es que desde mucho antes algunos habían expresado sus dudas sobre la explicación de Baumgartner y aportaron sólidos argumentos. Sin embargo, no lograron convencer a los numerosos profesionales. Se requería una demostración visual contundente. Y se halló en la imagen de Geier.

Hasta hoy, los investigadores de la percepción aún no se han puesto de acuerdo en una misma explicación que releve el modelo de Baumgartner. Es más, quizás haya que despedirse hasta del concepto que la ilusión fundamentó de manera simple y gráfica. Una pista que podría justificar este enfoque pesimista la aportó hace poco un experimento de un informático y un psicólogo de la percepción. David Corney y Beau Lotto, ambos del Colegio Universitario de Londres, entrenaron una red neuronal artificial con numerosas señales de entrada, que se asemejaban a la entrada de información visual, para generar respuestas correctas. Y esta fue la sorpresa: la red sucumbió a una serie de ilusiones equiparables a las ilusiones ópticas; entre ellas, manchas grises como en la rejilla de Hermann.

Aunque tal resultado no aporta explicación alguna, pone de manifiesto que nuestro sistema visual, bajo determinadas circunstancias, no puede hacer otra cosa que producir efectos que no concuerdan con el entorno físico, incluidas las ilusiones ópticas.

Rainer Rosenzweig, doctor en psicología de la percepción, dirige del museo experimental Turm der Sinne («Torre de los sentidos»), en Núremberg.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 40

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE HERMANN GRID ILLUSION REVISITED. P. H. Schiller y C. E. Carvey en *Perception*, vol. 34, n.º 11, págs. 1375-1397, 2005.

WHAT ARE LIGHTNESS ILLUSIONS AND WHY DO WE SEE THEM? D. Corney y R. B. Lotto en *Public Library of Science Computational Biology*, vol. 3, n.º 9, e180, 2007.

STRAIGHTNESS AS THE MAIN FACTOR OF THE HERMANN GRID ILLUSION. J. Geier et al. en *Perception*, vol. 37, n.º 5, págs. 651-665, 2008.

NICHT WAHR?! Dirigido por R. Rosenzweig. Sinneskanäle, Hirnwindungen und Grenzen der Wahrnehmung. Mentis, Paderborn, 2009.

Ilusión de movimiento

De cómo los ojos pueden ver movimiento donde no existe

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

El genio universal que fue Leonardo da Vinci nos ha dejado una herencia pictórica en la que se combinan la belleza y el deleite estético con un realismo sin parangón. Aunque Leonardo se ufanaba de su trabajo, también reconocía que el lienzo jamás podría transmitir la sensación de movimiento, ni de profundidad estereoscópica (que exige que los dos ojos vean al mismo tiempo imágenes levemente distintas). Leonardo admitía que existían límites claros para el realismo que podría plasmar.

Quinientos años después, las limitaciones de la representación de la profundidad en el arte de la pintura siguen en vigor (exceptuado, claro está, el «ojo mágico», que, mediante la impresión de muchos elementos similares, permite intercalar dos vistas, que el cerebro separa y asocia a cada ojo). Pero Leonardo no podía haber previsto el arte óptico (*op art*), tendencia plástica de los años sesenta del siglo pasado, cuyo propósito principal consistía en crear la ilusión de movimiento por medio de imágenes estáticas. Esta forma de arte se ganó el favor general del público. (La madre de uno de los autores, Rogers-Ramachandran, llegó incluso a empapelar todo un cuarto de baño con mareantes remolinos de aquellos diseños en blanco y negro.)

Aquel movimiento artístico nunca alcanzó el estatuto de «arte de altura» en el mundo de la pintura. Mas a los científicos que estudiaban la visión, tales imágenes les llamaron poderosamente la atención. ¿Por qué pueden unas imágenes estáticas provocar ilusión de movimiento?

Akiyoshi Kitaoka, psicólogo de la Universidad Ritsumeikan de Tokio, ha desarrollado una serie de imágenes, a las que llama «serpientes giratorias», que poseen especial eficacia para producir la ilusión de movimiento. En cuanto se posa la mirada sobre la figura *a*, enseguida parece que hay círculos girando en sentidos opuestos. Al observarla con la visión periférica, el movimiento se hace más perceptible. Si se clava la mirada en un punto de la imagen, la impresión de movimiento puede debilitarse, llegando incluso a la suspensión completa; pero el efecto se restaura en cuanto se cambie brevemente la posición del ojo, mirando a un lado, por ejemplo.

En esa imagen, se aprecia movimiento en la dirección que siguen los segmentos coloreados, desde el negro hacia el azul y hacia el blanco y el amarillo, para volver al negro. Pero los colores han sido añadidos para mayor atractivo estético y no tienen relevancia para el efecto. Una versión acromática (*b*) funciona con pareja eficacia mientras se preserve el perfil de luminancia de la versión coloreada (o con otras palabras, en tanto que la luminancia reflejada relativa de los diferentes trozos sea la misma).

Estas deliciosas figuras nunca dejan de asombrar a niños y a adultos. Pero ¿a qué se debe esta ilusión? No se sabe de cierto. Lo que sí conocemos es que la curiosa disposición de bordes basados en la luminancia tiene que activar «artificialmente», aunque no sepamos cómo, a las neuronas detectoras de movimientos que se encuentren en las vías nerviosas de la visión. Es decir, ciertas configuraciones especiales de luminancia y contraste engañan al sistema visual, haciéndole percibir movimiento donde no lo hay. (No se alarme si usted no lo percibe, porque lo mismo les ocurre a algunas personas que, por lo demás, gozan de una visión normal.)

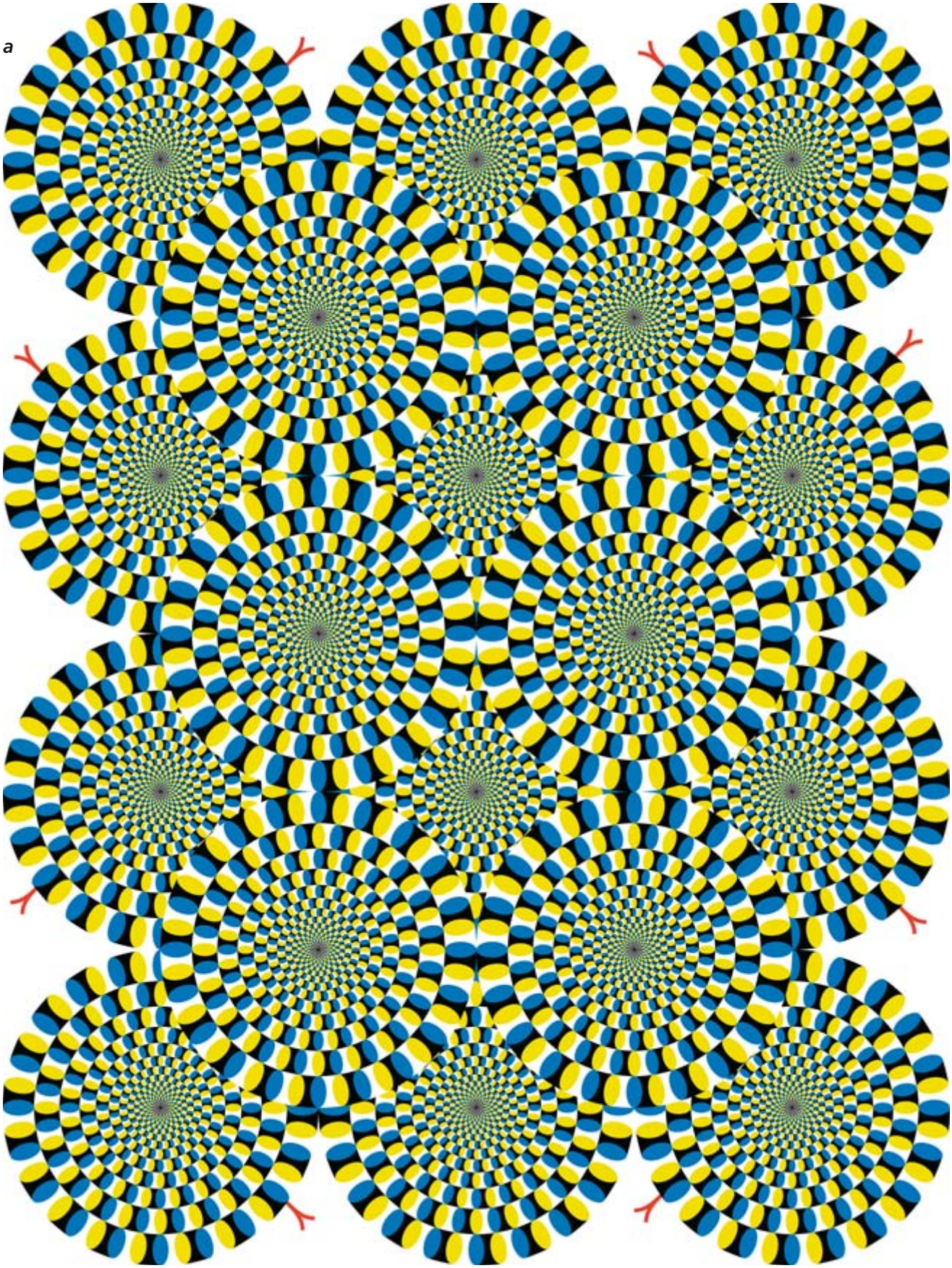
Para explorar la percepción del movimiento, se suelen utilizar, por patrones de prueba, películas muy cortas (cuya longitud es de solo dos fotogramas). Imaginemos que el fotograma 1 contiene una formación densa de lunares negros repartidos al azar sobre un fondo gris. Si, en el fotograma 2, semejante configuración queda ligeramente desplazada hacia la derecha, se verá que el manchón de puntos se mueve (salta) hacia la derecha, porque el cambio activa numerosas neuronas detectoras de movimiento que trabajan en paralelo en nuestro cerebro. En este movimiento aparente, o fenómeno phi, se fundan las películas de cine, en las cuales no existe un movimiento auténtico, sino una serie de fotogramas presentados en rápida sucesión.

Ahora bien, si en el segundo fotograma se siguen desplazando los puntos hacia la derecha y se invierte el contraste de los lunares, de modo que ahora sean blancos sobre fondo gris (en lugar de negros sobre gris), se apreciará un movimiento de sentido contrario. A esta ilusión, descubierta por Stuart Antsis, ahora en la Universidad de California en San Diego, se la conocía por efecto «phi invertido». En lo sucesivo la llamaremos efecto Antsis-Reichardt, en homenaje a los dos científicos que lo estudiaron por vez primera. (El segundo de los citados fue Werner Reichardt, que se encontraba en el Instituto Max Planck de Cibernética Biológica, en Tübingen.) Sabemos ya que tan paradójica inversión del movimiento se debe a ciertas peculiaridades del modo en que las neuronas detectoras de movimiento, llamadas detectoras Reichardt, operan en nuestros centros visuales.

Cableadas para el movimiento

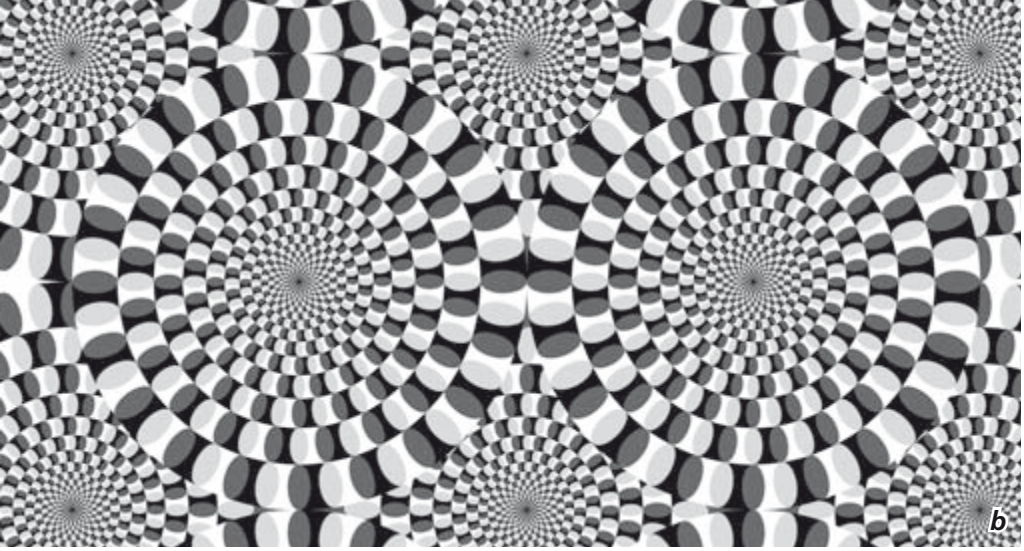
¿Cómo ha de ser «la instalación eléctrica» de una neurona detectora de movimiento para registrar la dirección del mismo?

a



AKIYOSHI KITAOKA (ROTATING SNAKES, 2003)

¿Cómo estará «instalada» en el cerebro una neurona detectora de movimiento para determinar cuál es su dirección?



Cada una de tales neuronas o detectoras recibe señales procedentes de su campo receptor: una parcela de la retina (el delgado revestimiento de tejido fotosensible que recubre el fondo de los ojos). Cuando un grupo de receptores es activado en, sea por caso, el lado izquierdo del campo receptor, le es enviada una señal a la neurona detectora, pero esta señal es demasiado débil para activar por sí sola a la neurona. Si se excita también el cúmulo contiguo de receptores retinianos situado a la derecha del campo receptor, enviará una señal a la misma neurona; mas, de nuevo, la señal resulta demasiado débil por sí sola.

Imaginemos, sin embargo, que se introduce un bucle de retardo entre la primera parcela y la neurona detectora de movimiento; no así entre la segunda (la parcela situada a la derecha) y esa misma neurona. Si el objeto se mueve hacia la derecha en el campo receptor, la actividad procedente de la segunda parcela llegará a la neurona detectora de movimiento al mismo tiempo que la señal retardada procedente de la parcela izquierda. Las dos señales, sumadas, estimularán a la neurona y provocarán su disparo. Tal disposición, semejante a la de una puerta lógica Y, exige que el circuito incluya un bucle de demora y asegure la especificidad de dirección y velocidad.

Pero esto es solo parte del cuento. Es necesario suponer que, por alguna razón que todavía no entendemos, las figuras estáticas como *a* y *b* producen una activación diferencial en el seno del campo receptor, lo que resulta en una actividad espuria de las neuronas de movimiento. La peculiar disposición escalonada de los bordes —la variación en luminancia y contraste— en cada subregión de la imagen, combinada con los diminutos movimientos que los ojos efectúan sin cesar, se convierte en crítica para activar artificialmente la detección del movimiento. El resultado neto es que nuestro cerebro es engañado e inducido a ver movimiento en una figura estática.

Intensificación del movimiento

Sabemos, por último, que los motivos que poseen una cierta cantidad de regularidad y repetición excitarán paralelamente a múltiples neuronas detectoras de movimiento, intensificando de este modo nuestra impresión subjetiva de movimiento. Una porción pequeña del motivo resulta insuficiente para generar una sensación de movimiento apreciable; en cambio, las señales masivamente paralelas de los motivos muy repetitivos producen, conjuntamente, una fuerte ilusión de movimiento. Tal vez los lectores deseen realizar unos cuantos experimentos informales por cuenta propia: ¿Es la ilusión más intensa con un solo ojo o con los dos? ¿Cuántas serpientes giratorias se requieren para verlas retorcerse?

Todavía no comprendemos del todo de qué manera obran su magia las imágenes estacionarias para provocar estas pasmosas impresiones de movimiento. Lo que sí sabemos, empero, es que estas figuras estacionarias activan en el cerebro a las neuronas detectoras de movimiento. Esta idea ha sido verificada fisiológicamente mediante registros de la actividad de neuronas individuales en dos áreas del cerebro de un mono: la corteza visual primaria (V1), que recibe señales de la retina (tras ser remitidas desde el tálamo), y el área temporal media (TM), situada a un lado del cerebro y especializada en la visión del movimiento. (Las lesiones de área TM provocan ceguera al movimiento; en ella, los objetos en movimiento se perciben como una sucesión de objetos estáticos, cual si estuvieran iluminados con un estroboscopio.)

¿Estarán «engañando» a las neuronas de movimiento imágenes estáticas como las serpientes rotatorias? La respuesta inmediata parece ser que sí; lo han demostrado una serie de experimentos fisiológicos publicados en 2005 por Bevil R. Conway, de la facultad de medicina de Harvard, y sus colaboradores.

De este modo, los científicos, mediante la supervisión, por una parte, de la actividad de las neuronas detectoras de movimiento en animales y, por otra y simultánea, explorando la percepción humana mediante imágenes sagazmente concebidas, como las *a* y *b*, están tratando de comprender los mecanismos de nuestro cerebro que se encuentran especializados en la visión del movimiento. Desde un enfoque evolutivo, esta facultad ha sido un valioso activo, en su papel de sistema de alerta precoz para atraer nuestra atención, sea para detectar presas, depredadores o compañeros de especie (todos los cuales se mueven, a diferencia de las piedras o los árboles). Una vez más, la ilusión puede ser la senda que lleve a comprender la realidad.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 30

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PHI MOVEMENT AS A SUBSTRACTION PROCESS. S. M. Antsis en *Vision Research*, vol. 10, n.º 12, págs. 1411-1430, diciembre de 1970.

PERCEPTION OF ILLUSORY MOVEMENT. A. Fraser y K. J. Wilcox en *Nature*, vol. 281, págs. 565-566, 18 de octubre de 1979.

NEURAL BASIS FOR A POWERFUL STATIC MOTION ILLUSION. Bevil R. Conway, Akiyoshi Kitaoka, Arash Yazdanbakhsh, Christopher C. Pack y Margaret S. Livingstone en *Journal of Neuroscience*, vol. 25, n.º 23, págs. 5651-5656, 8 de junio de 2005.

Franjas deslizantes

Unos cuantos experimentos sencillos desentrañan los misterios de la ilusión del poste de barbería

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

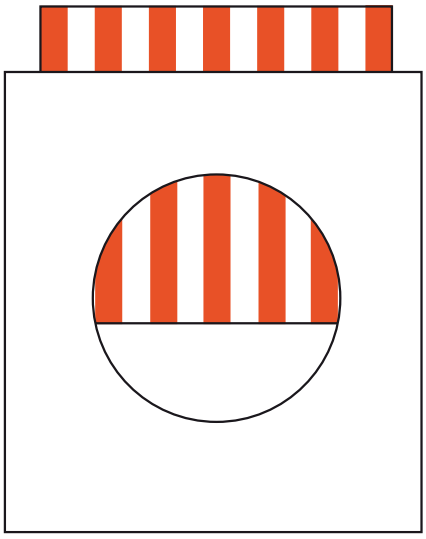
Los primeros psicólogos de la Gestalt —entre ellos Stuart Anstis, de la Universidad de California en San Diego, y el psicólogo Hans Wallach (1904-1998)— hallábanse intrigados por la que ellos llamaban «ilusión de la señal de barbería» (*a*). El anuncio de la barbería consiste en un cilindro vertical en cuya superficie se arrollan en hélice franjas rojas y blancas. El cilindro gira en torno a su eje longitudinal. Las franjas se mueven en realidad en sentido horizontal, pues cada uno de sus puntos describe un círculo alrededor del eje, pero parecen desplazarse en sentido vertical, hacia arriba o hacia abajo, según el sentido de rotación.

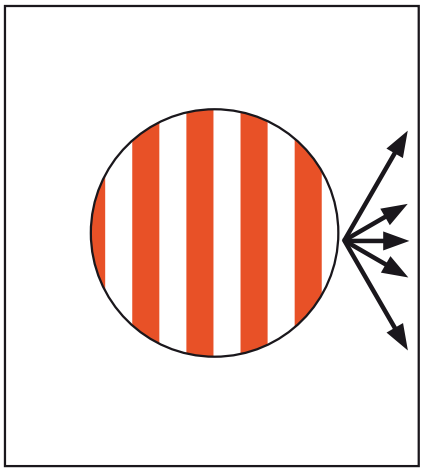
Esta ilusión constituye una sólida prueba de la tesis que hemos venido repitiendo en la sección, a saber, que la percepción no remeda a la física. En ella interviene la interpretación del cerebro, deducida de una imagen proyectada sobre el fondo del ojo, en la retina, el cual ha de emitir un juicio sobre lo que está ocurriendo en el exterior, en el mundo. Ahora bien ¿qué es lo que provoca la ilusión?

Consideremos un caso más sencillo: una cartulina en la que se han pintado franjas verticales y que es movida por detrás de una abertura circular (*b*). Aquí hemos mostrado esquemáticamente los márgenes exteriores de la tarjeta a franjas, para dejar claro qué es lo que ocurre tras la abertura. No deberían quedar visibles, sin embargo, cuando se observe el montaje real, que el lector puede preparar fácilmente en casa recortando en una hoja grande de cartulina una abertura circular, que tenga, por ejemplo, de 4 a 5 centímetros de diámetro. Utilice después una segunda cartulina, más pequeña, con franjas verticales, alternativamente rojas y blancas, de unos 5 milímetros de anchura. Pídale a otra persona que mueva la tarjeta a franjas a un lado y otro en una dirección cualquiera; mientras usted observa las franjas visibles por la abertura, trate de decidir la dirección del movimiento.

© FOTOLIA / EYEMARK

La ilusión del poste de barbería demuestra, una vez más, que la percepción no remeda a la física





b

TODOS LOS GRÁFICOS DE ESTE ARTÍCULO: *SCIENTIFIC AMERICAN MIND*

Aunque el estímulo visual sea ambiguo, nuestra percepción no lo es

Si la tarjeta a franjas es desplazada horizontalmente, observará que las franjas se mueven en sentido horizontal. Pero si las franjas estuvieran moviéndose *oblicuamente* a mayor velocidad, el estímulo visual en la retina sería exactamente el mismo. De hecho, existe una familia de vectores (es decir, movimientos en una cierta dirección) de diferentes velocidades y orientaciones que producen todos en la retina la misma imagen cambiante.

Esta familia de vectores está indicada en *b* por flechas de distintas longitudes, que representan su velocidad y dirección. No obstante, aunque el estímulo propiamente dicho sea ambiguo, nuestra percepción no lo es: siempre vemos que las franjas se mueven en sentido perpendicular a su orientación. Tal parece ser *coeteris paribus*, la solución preestablecida de nuestra percepción, o como ahora se dice, la «solución por defecto». No se aprecia que las franjas se muevan en sentido diagonal a mayor velocidad. El cerebro resuelve el problema de la abertura dando por supuesta una situación preconcebida.

En el rectángulo

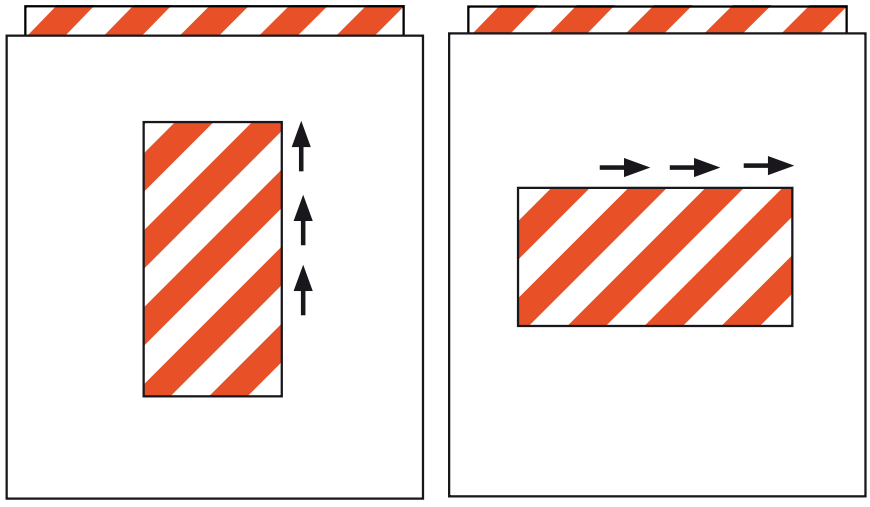
Examinemos otra vez estímulos como el del poste de la barbería, es decir, estímulos en los que la abertura es rectangular y vertical, y las franjas están orientadas en diagonal (*c*). Al repetir el mismo experimento en este nuevo planteamiento, se podría esperar que la percepción preconcebida siguiera siendo la misma, es decir, de movimiento perpendicular a la orientación de las franjas. Pero no ocurre tal: no se aprecia un movimiento oblicuo. Antes bien, las franjas parecen invariablemente moverse en sentido vertical, en la dirección del eje longitudinal de la abertura, lo mismo que en el poste de barbería. ¿Por qué?

Cabría pensar que en este caso interviene un factor adicional. Observemos que, aunque la dirección (y la velocidad) de las franjas sigue siendo ambigua, los ápices de las franjas se mueven sin ambigüedad hacia arriba a lo largo del borde de la apertura (o de la generatriz del cilindro, en el caso del poste). El movimiento de estos «terminadores» puede contribuir a resolver la ambigüedad de la dirección del movimiento; las puntas «arrastran» a las franjas en un único sentido ascendente, efecto al que algunos investigadores denominan «captura de movimiento». Este fenómeno explica la ilusión del poste de barbería. Se podría decir que este movimiento, que no es ambiguo, le da la clave al cerebro y dicta que toda la estructura a franjas se vea en movimiento (*flechas en c*) a lo largo de la dirección mayor del rectángulo, ya sea en posición horizontal o vertical.

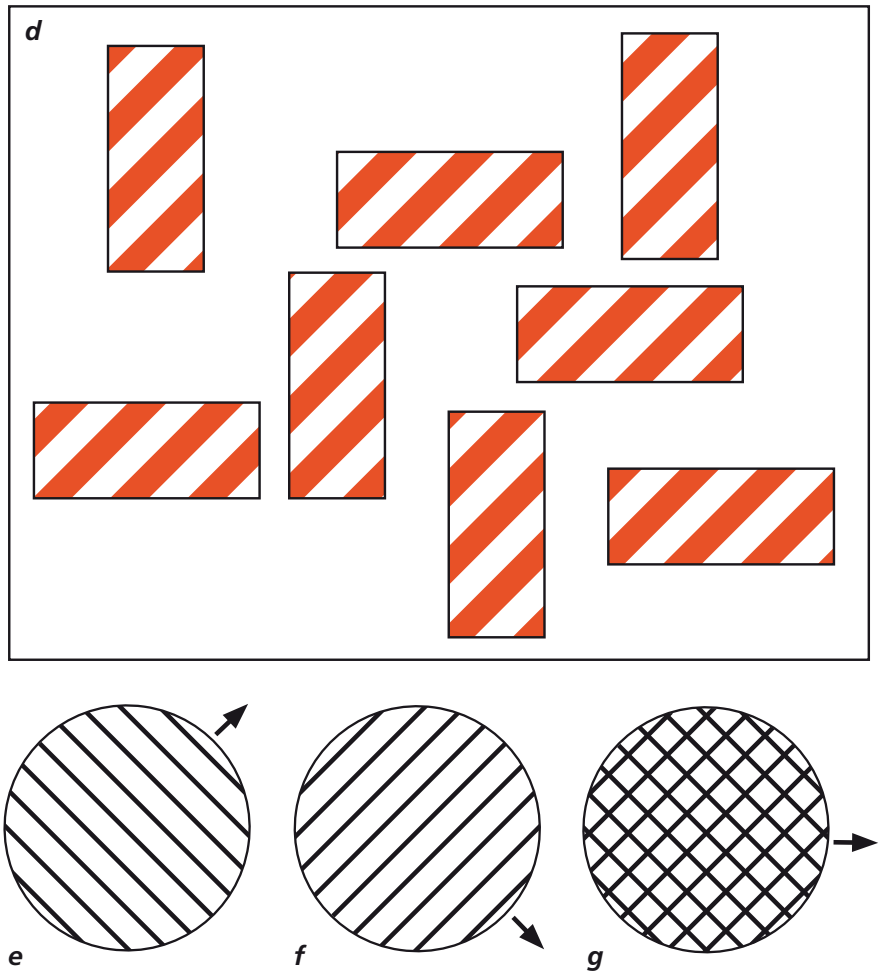
Podemos plantearle un problema al sistema visual mediante un montaje como en *d*, formado por un grupo disperso de aberturas verticales u horizontales, por detrás de *todas* las cuales se están moviendo oblicuamente las franjas. Si se fija la mirada en cualquiera de esas aberturas, se verá que las franjas se desplazan, ya en dirección horizontal, ya en vertical, como sería de esperar. Pero con un poco de esfuerzo es posible obligarse a ver el conjunto como un todo.

En tal caso, uno percibe el estímulo visual como un único y gran conjunto de franjas en movimiento oblicuo, visto a través de un gran cartón opaco, en el que se han recortado al azar aberturas verticales u horizontales en diversos lugares. Nuestro sistema visual «considera» que esta percepción constituye una descripción más económica de los datos que la visión de postes de barbero independientes, distribuidos por el mundo en esta precisa manera por algún marciano loco que se propusiera confundirnos.

Nuestra inmunidad para no ver postes de barbero independientes implica que en el sistema visual han de estar implantadas



c



reglas complejas de segmentación de imágenes (entre ellas, reglas de «complementación» de la superficie a franjas situada por detrás de las ventanas horizontales o verticales).

Intersección de las restricciones

Tomemos ahora otro ejemplo. En *e* se tiende a ver un movimiento diagonal, a 45 grados hacia arriba y hacia la derecha, mientras que en *f* este movimiento es hacia abajo y hacia la derecha, como indican las flechas.

¿Y si ahora los superponemos? ¿Las veremos pasar unas junto a otras en ángulo recto? La respuesta es negativa; lo que veremos es una rejilla en movimiento horizontal (*indicado por la flecha de g*). Edward H. Adelson, del MIT, y J. Anthony Movshon, de la Universidad de Nueva York, investigadores ambos de la percepción, han llevado a cabo sagaces experimentos para demostrar que, contrariamente a la intuición ingenua, este efecto no se produce por simple promediación de los vectores de ambas series de rayas. Se debe, en cambio, a un principio denominado «intersección de restricciones». Cada movimiento de la rejilla es compatible con una familia de vectores, y la región de superposición —donde las dos familias se superponen— es tomada como la «auténtica» dirección de movimiento.

Curiosamente, las neuronas sensibles al movimiento de áreas cerebrales que empiezan a actuar en las primeras fases del procesamiento jerárquico del movimiento (entre ellas, una región llamada MT) responden por separado a la dirección de cada rayado (componente de movimiento), mientras que las células situadas a nivel más elevado responden a la dirección general del cuadriculado (movimiento de la rejilla). Es como si estas neuronas estuvieran integrando las señales eferentes de las neuronas sensibles a las componentes del movimiento y pusieran en servicio el algoritmo de intersección de restricciones.

Nuestra inmunidad para no ver postes de barbero independientes entraña complejas reglas en nuestro sistema visual

Existe un segundo modelo para la intersección de restricciones. Observemos en *g* que, no obstante la ambigüedad del movimiento de las franjas, las intersecciones entre estas se desplazan inequívocamente en sentido horizontal. Tales puntos de cruce podrían «capturar» y arrastrar horizontalmente consigo los rayados, desempeñando así un papel semejante al de las puntas agudas en la abertura vertical o en el poste del barbero.

No existe, por el momento, una razón poderosa para preferir uno u otro modelo. El primero (intersección de restricciones) es de mayor elegancia matemática y podría ser del agrado de un cosmólogo, mientras que el segundo (un atajo más «chapucero») podría ser el favorito del biólogo.

Se cree que el patrón decorativo del poste de barbería pretendía en un principio ser representación de sangre y vendas, cuando los barberos eran también cirujanos. Mal podían aquellos hombres imaginar que esta ilusión iba a proporcionar análisis tan incisivos sobre la forma en que los humanos percibimos el movimiento.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 39

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PHENOMENAL COHERENCE OF MOVING VISUAL PATTERNS. E. H. Adelson y J. A. Movshon en *Nature*, vol. 300, págs. 523-525, 1982.

TRANSPARENCY AND COHERENCE IN HUMAN MOTION PERCEPTION. G. R. Stoner, T. D. Albright y V. S. Ramachandran en *Nature*, vol. 344, págs. 153-155, 8 de marzo de 1990.

El poder de la simetría

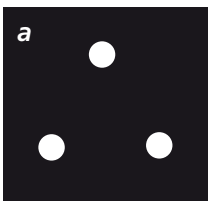
La preferencia del cerebro por la simetría influye en la percepción del movimiento

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

El atractivo estético de la simetría resulta obvio, sea para el niño que juega con un caleidoscopio, sea para el emperador de Delhi que erigió el Taj Mahal como monumento al amor eterno. Tal preferencia cerebral determina en gran manera nuestra visión del mundo cuando hay entes en movimiento. Enseguida hablaremos de ello.

En el mundo natural, a diferencia del creado por el ser humano, la simetría actúa como un sistema de alerta rápida, tanto si la observamos en una presa, un depredador, un semejante o en nuestra madre: la simetría reclama nuestra atención. Incluso un bebé, que tiene de su entorno una visión borrosa, pues todavía no ha desarrollado agudeza visual, demuestra una preferencia innata hacia la simetría. Los niños de pocos meses se fijan durante más tiempo en rostros que les muestran los dos ojos en una posición normal que en los que perciben una configuración ciclópea o con los ojos a distinta altura.

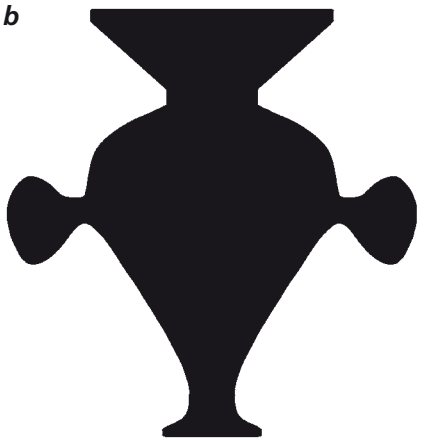
Los rostros simétricos tienden a parecernos más atractivos que los asimétricos. Algunos investigadores han postulado que tal parcialidad puede deberse a que las infecciones por parásitos pueden provocar asimetrías visibles en las víctimas. Una especie parasitaria, al evolucionar, trata sin cesar de igualar los antígenos de su superficie a los del hospedador, para eludir el rechazo inmunitario. El hospedador está sometido, al mismo tiempo, a una intensa presión selectiva que le torne capaz de detectar infecciones de parásitos u otras anormalidades que pudieran mermar su estado físico y su éxito reproductivo. Si las parasitosis se producen en una fase temprana del desarrollo, pueden provocar desviaciones pequeñas, pero apreciables, de la simetría; de aquí la ventaja adaptativa de utilizar la asimetría a modo de marcador, para evitar posibles parejas con mala salud, genes débiles o un sistema inmunitario deficiente.



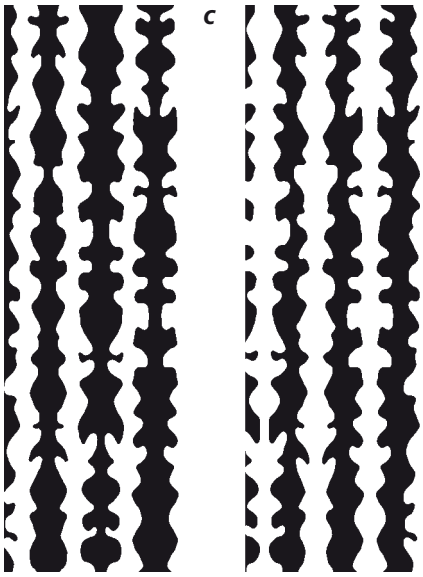
Equilibrio conjunto

A comienzos del siglo XX, la escuela de psicología Gestalt comenzó a estudiar la importancia de la simetría en la percepción. Rechazaron y atacaron las metodologías atomísticas o reduccionistas, entonces vigentes, sobre la percepción. Esta escuela, a partir de Max Wertheimer, identificó «leyes» de organización perceptiva y subrayó que serían las relaciones entre todos los elementos de una escena y no sus meros elementos individuales los que influirían en la percepción final. Por ejemplo, tres puntos colineales sugieren una línea recta, mientras que tres puntos desalineados evocarán una inconfundible percepción de «triangularidad», a pesar de que una disposición tal carezca de los elementos característicos del triángulo, a saber, tres lados y tres vértices (*a*).

La ilustración *b* pone de manifiesto uno de los tres principios de la Gestalt más básicos: la organización de una escena en «figura» y «fondo». Incluso en figuras abstractas, que no hayamos visto antes, existe una división perceptiva entre un objeto o cosa y el fondo. Los contornos se



© FOTOLIA / OLGA VASILKOVA (*imagen caleidoscópica*); *SCIENTIFIC AMERICAN MIND* (*a-g*)



perciben como parte de la figura, que se ve a su vez situada por delante del fondo informe. Aquí reconocemos un jarrón negro, mas con algo de tiempo y esfuerzo, también pueden apreciarse dos rostros de perfil situados, en su caso, por delante de un fondo oscuro.

La psicología de la Gestalt descubrió muchas leyes para determinar lo que en una presentación es visto como figura o como fondo. En general, si los contornos se encuentran próximos, se percibirá que han de estar juntos, que forman parte de una misma figura (principio de proximidad). Si los contornos tienen simetría especular, también se agruparán y definirán una figura (principio de simetría).

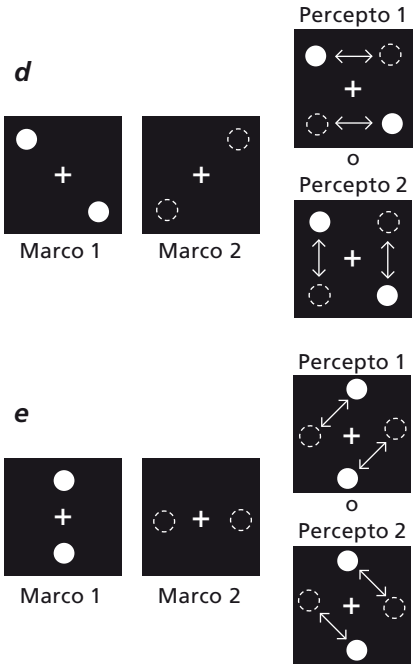
¿Qué ocurre, entonces, cuando la simetría y la proximidad se contradicen? La simetría tiende a predominar; es decir, lo normal es que las formas con simetría especular sean observadas como figura y no como fondo (*c*). En la percepción de objetos, el cerebro opta por la simetría.

Volvamos ahora a la idea de considerar en qué medida puede influir la simetría en el proceso de movimiento. Empezaremos con el movimiento aparente, la ilusión de movimientos que se tiene cuando, por ejemplo, se nos presentan dos puntos espacialmente separados en rápida secuencia temporal (como en una ristra de lamparitas de Navidad, que parecen saltar adelante y atrás). Aunque las lucecitas no sobresalen, nuestra percepción de movimiento entre ellas es vívida. Dado que los mismos mecanismos cerebrales parecen procesar tanto el movimiento real (el de un gato que salta por la sala) como el movimiento aparente (la ristras de adorno), los modelos basados en este último proporcionan una herramienta adecuada para el estudio de la percepción del movimiento.

Movimiento aparente

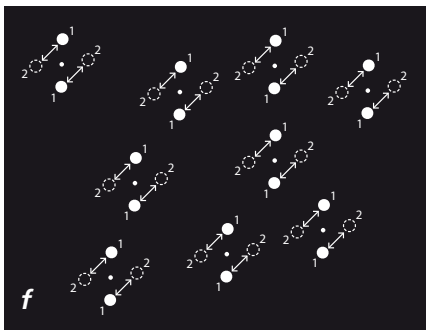
Hará unos veinticinco años, uno de los autores (Ramachandran) y su colaborador Stuart M. Antsis desarrollaron una figura de movimiento aparente, el llamado cuarteto biestable (*d*). En dicha ilusión, dos puntos destellan de forma breve y simultánea (marco 1 en *d*) en vértices diagonalmente opuestos de un cuadrado imaginario; se apagan y reemplazan por otros dos puntos idénticos, que destellan ahora en los dos extremos de la otra diagonal (marco 2 en *d*). Al alternar con rapidez los elementos en los marcos 1 y 2, se aprecia un movimiento aparente: los puntos parecen moverse de izquierda a derecha, de izquierda a derecha, o arriba-abajo, arriba-abajo. La dirección de movimiento percibida es ambigua, o biestable. Podemos ver una u otra, pero no ambas simultáneamente. Ocurre algo parecido a la ilusión de los rostros y el jarrón que se muestra en *b*.

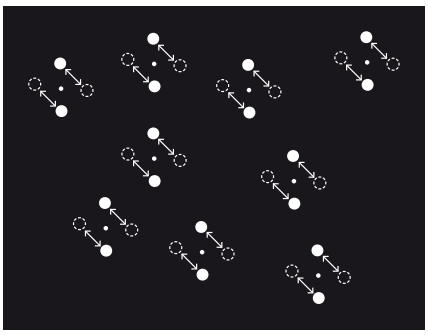
Si la configuración se gira 45 grados, de modo que los puntos definan un rombo imaginario en lugar de un cuadrado (*e*), también la senda del movimiento se percibe con un giro de 45 grados. Es decir, los puntos parecen moverse hacia delante y atrás en líneas oblicuas paralelas. Igual que antes, ahora tenemos dos percepciones de movimiento, ambas igual de posibles y mutuamente excluyentes: oblicuo, con pendiente positiva, o también oblicuo, pero con pendiente negativa. Y, lo mismo que antes, se tendría que poder alternar entre una y otra.

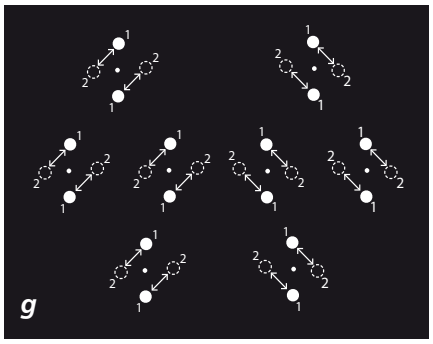


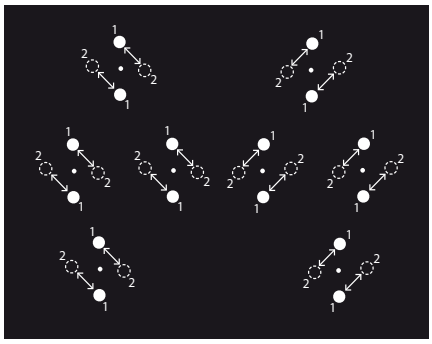
Fijémonos en lo que ocurre cuando repartimos al azar, en la pantalla de un ordenador, varios cuartetos biestables (*f*). Puesto que cada uno presenta una probabilidad del 50 por ciento de ser visto en movimiento en uno de los dos sentidos de recorrido del eje, se podría esperar un reparto a partes iguales (mitad y mitad). Sorprendentemente, el cerebro los acopla y los mueve al compás, de modo que acaban realizando todos un mismo tipo de oscilación en todo el campo visual. Es posible lograr, con intenso esfuerzo mental, el desacoplo de los cuartetos durante breves instantes, sin embargo, en nuestra percepción, su estado natural es la sincronía. Este experimento demuestra que la percepción del movimiento aparente no acontece por parcelas en zonas diferentes del campo visual. Existe una exigencia de coherencia global.

Introducimos ahora simetría, reagrupando el campo de cuartetos biestables y









formando con ellos una «mariposa» simétrica respecto a un eje vertical. Se produce un hecho extraordinario: los cuartetos de cada mitad se ven sincronizados, como era de esperar, pero en la otra mitad, los cuartetos, también en sincronía, se mueven en sentido contrario, como reflejados en un espejo (*g*). Al parecer, la simetría global de la configuración en mariposa se impone sobre el movimiento percibido, lo que entraña sentidos opuestos para las dos mitades de la configuración. Exploramos dicho fenómeno con nuestra estudiante Elizabeth Seckel, en la Universidad de California en San Diego (UCSD).

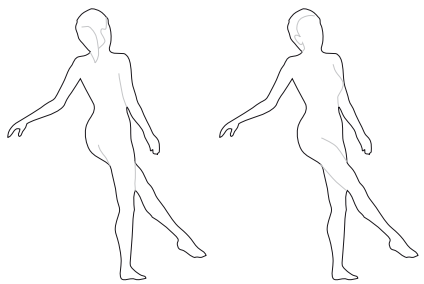
Pirueta ambigua

Así pues, la necesidad de simetría se impone a la tendencia global de ver un mismo movimiento en todo el campo visual. Nuestra percepción depende por completo de una jerarquía de reglas de precedencia que determinan la interacción de leyes o reglas diferentes reflejo de las propiedades estadísticas del mundo y de la necesidad de supervivencia del organismo.

Otro experimento concerniente a la interacción entre movimiento y simetría consiste en la ilusión de la bailarina que gira sobre sí misma (*h*; si desea verla, busque en Google «ilusión de la bailarina» o «*spinning ballet dancer*»). Sobre la retina se proyecta la sombra de una silueta que se va deformando, pero el cerebro dota de forma instantánea de sentido a la imagen, por lo que se percibe «en 3D» a una joven que da vueltas sobre su eje vertical. Ante la pregunta por su rotación, seguramente responderá sin dudar que es «a la derecha», o bien «a la izquierda». Pero siga observándola un poco más, porque, como en los otros ejemplos, el sentido de rotación es ambiguo. Con un leve esfuerzo mental (también tapando casi toda la imagen, salvo una pequeña parte de la figura móvil), la bailarina dará vueltas en sentido contrario.

Resulta divertido ver a un grupo de dichas figuras girando sobre sí mismas; si tiene usted destreza para programar, puede tratar de crearlas. De no ser así, puede generar una muestra razonable abriendo varias ventanas, todas con la misma imagen, para repartirlas al azar por la pantalla de su ordenador. Asimismo puede utilizar una lámina multilenticular (o de «ojo de insecto») de lentes de Fresnel, disponibles en las tiendas de algunos museos de ciencia, que multiplicarán ópticamente a la bailarina. Como en el caso de los cuartetos biestables, mucho más sencillos, se percibe que todas las bailarinas giran en sincronía, todas a derechas, o todas, a izquierdas. (Realizamos el experimento con Shai Azoulai, por entonces estudiante de posgrado en la UCSD). Creamos una muestra simétrica, semejante a una mariposa, con multitud de bailarinas; como ya ocurriera, la mayoría de los probandos vieron sincronizarse en el acto a todas las bailarinas situadas a un mismo lado del eje de simetría, pero la población de cada mitad giraba en sentidos contrarios. Dicho de otro modo, los dos campos parecían girar, bien uno hacia el otro o bien alejándose entre sí. La necesidad de simetría predomina sobre la necesidad de ver movimientos sincronizados en todo el campo visual. (A veces, con esfuerzo mental, los participantes lograban observar a todas las bailarinas haciendo lo mismo, mas la preferencia espontánea provoca verlas girar en sentidos opuestos.) Si el lector desea comprobar por sí mismo el resultado, sitúe un espejo al lado de la bailarina, de forma perpendicular a la pantalla del ordenador.

CORTESÍA DE NOBUYUKI KAYAHARA



El acoplamiento de movimiento y sentido de giro se basa, en parte, en la sincronía temporal (y de velocidad) de los objetos. Algunos fisiólogos han propuesto que tales agrupamientos perceptivos pueden surgir cuando existe una sincronización de impulsos nerviosos evocados en multitud de regiones cerebrales por los cuartetos individuales o por las bailarinas. Si así fuera, ¿qué ocurriría si las bailarinas de distintas partes del campo visual girasen a velocidades un poco diferentes? ¿Llegarían aun así a sincronizarse? ¿Y si las bailarinas fuesen de tamaños distintos? En tal caso, ¿lograría usted desacoplar a las grandes de las pequeñas? El pasatiempo está servido.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 47

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO APARENTE. V. S. Ramachandran y S. M. Anstis en *Investigación y Ciencia*, agosto de 1986.

Ambigüedades y percepción

Lo que la incertidumbre nos enseña sobre el cerebro

VILAYANUR R. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Aunque el cerebro detesta la ambigüedad, nos sentimos curiosamente atraídos por ella. Muchas y famosas ilusiones ópticas se sirven de la ambigüedad para estimular gratamente los sentidos. La resolución de incertidumbres suscita un placentero sobresalto en nuestro cerebro, parecido al que se experimenta en el ¡Eureka! de acertar con la solución de un problema. Tales observaciones llevaron a Hermann von Helmholtz a señalar que la percepción tenía mucho en común con el acto intelectual de resolver un problema. Esta idea ha cobrado nuevos alientos en tiempos recientes, defendida por un elocuente paladín, Richard L. Gregory, de la Universidad de Bristol.

Las llamadas «figuras biestables», así las ilusiones (*a*) donde podemos ver, ora a una joven, ora a su anciana madre, y (*b*) que tanto puede ser un jarrón como dos perfiles faciales, se repiten en los libros de texto erigidas en ejemplo claro de la modificación de la percepción a través de las influencias «desde lo alto» (conocimientos o expectativas preexistentes) procedentes de los centros cerebrales superiores (donde se encuentran ya codificados símbolos perceptivos como «vieja» y «joven»). A menudo se cree que tal cosa significa que uno puede ver lo que desea ver, lo cual, aunque absurdo, contiene más verdad de la que muchos científicos estarían dispuestos a admitir.

Graciosos volteos

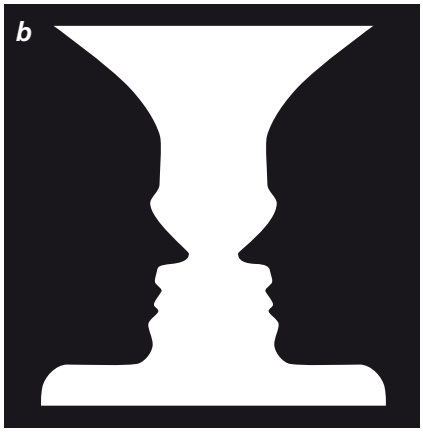
Tomemos el sencillo caso del cubo de Necker (*c*, y su variante en *d*). Esta ilusión puede ser vista con el cubo orientado

hacia arriba o hacia abajo. Con un poco de práctica podemos saltar a voluntad de uno a otro de estos dos perceptos alternantes (aun siendo así, resultan graciosos si el volteo es espontáneo, como si nos hubieran gastado una broma). A decir verdad, el dibujo no solo es compatible con dos interpretaciones, según acostumbra a pensarse. Existe un conjunto infinito de formas trapeciales capaces de producir exactamente la misma imagen retiniana, pero en todos los casos el cerebro detecta sin la menor duda un cubo. Nótese, asimismo, que en cada momento dado vemos solo uno de los dos.

El sistema visual parece luchar consigo mismo para decidir cuál de los dos cubos es el representado en la figura, pero previamente ha resuelto ya un problema perceptivo mucho mayor al rechazar millones de otras configuraciones que podrían determinar la misma configuración retiniana que hemos llamado «cubo de Necker». La atención descendente «desde lo alto» y la voluntad, o la intención, solo pueden ayudarnos a seleccionar entre dos perceptos, y no podremos ver ninguna de las demás posibilidades por mucho que nos esforcemos.

El cubo de Necker, utilizado con frecuencia como ilustración del papel de las influencias «desde lo alto», lo que demuestra es exactamente lo contrario, a saber, que la percepción es, por lo general, inmune a tales influencias. De hecho, si todos los cómputos perceptivos se basaran en efectos «descendentes» serían demasiado lentos, y de muy poca ayuda nos servirían en situaciones asociadas a la supervivencia o la propagación de nuestros genes: huir de un depredador, por ejemplo, hacernos con un bocado o aparearnos.

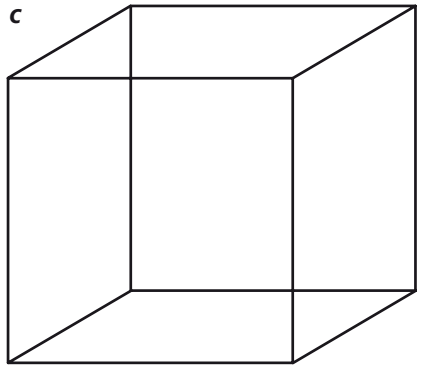
Conviene caer en la cuenta de que la ambigüedad no se presenta solo en figuras sagazmente ideadas, como las de estas dos páginas o la figura *e*, donde el sombreado puede hacer que los círculos nos parezcan ora cóncavos, ora convexos. En lo atinente a la percepción, la ambigüedad constituye la regla mucho más a menudo que la excepción; por lo general, queda resuelta por otros indicios que



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

El efecto resulta gracioso si el volteo es espontáneo, como si nos hubieran gastado una broma

En la percepción, la ambigüedad constituye la regla mucho más a menudo que la excepción



ascienden «desde la base» (o que viajan de través, si se quiere), fundamentados en un «conocimiento» estadístico del mundo visual. Tal conocimiento está implantado en la circuitería neuronal del sistema de visión, y entra en acción de forma inconsciente para eliminar muchos millones de falsas soluciones. Pero el conocimiento en cuestión se refiere a las propiedades generales del mundo, no a propiedades concretas de las cosas. El sistema visual tiene integrados en sí conocimientos sobre superficies, contornos, profundidades, movimientos, iluminaciones, pero no sobre paraguas, sillas o perros dálmatas.

Control del movimiento

También se da la ambigüedad en la percepción del movimiento. En *f* se empieza con dos puntos de luz que destellan a la vez en los vértices diagonalmente opuestos de un cuadrado imaginario, que vemos en *1*. Se apagan después las luces, reemplazadas por puntos que aparecen en los otros dos vértices, dibujados en *2*. Estos dos marcos se repiten de forma cíclica. En esta presentación, a la que denominamos cuarteto biestable, es posible ver a los puntos oscilar en sentido vertical (*flechas de trazos*) u horizontal (*flechas continuas*), pero nunca en ambos sentidos al mismo tiempo: otro ejemplo de ambigüedad. Aunque exige mayor esfuerzo, es posible, lo mismo que con el cubo de Necker, alternar intencionadamente estos dos perceptos.

Nos hemos preguntado qué ocurriría si se distribuyeran al azar varios de estos estímulos tetra-biestables por la pantalla de un ordenador. ¿Cambiarían todos de orientación cuando se lograse voltear mentalmente a uno de ellos? O bien, dado que cualquiera de ellos tiene una probabilidad del 50 por ciento de ser vertical u horizontal, ¿oscilaría cada uno por su cuenta? Es decir, ¿se produce globalmente la resolución de la ambigüedad (todos los cuartetos tienen el mismo aspecto) o se producirá por zonas para diferentes partes del campo visual?

La respuesta es clara: todos bailan conjuntamente. Tienen que existir efectos cuasi-globales en la resolución de la ambigüedad. Tal vez desee el lector experimentar con este efecto en su ordenador. Y podría, asimismo, preguntarse si la misma regla es válida para la ilusión madre/hija. ¿Y qué decir en el caso del cubo de Necker? Es notable lo mucho que se puede aprender sobre la percepción a través de figuras tan sencillas. Por eso el cultivo de este campo resulta tan seductor.

No pretendemos insinuar que las influencias eferentes («desde lo alto») no desempeñan papel alguno. En algunas figuras, uno puede quedarse «enganchado» en una de las interpretaciones y, en cambio, captar la otra cuando se nos dice, de palabra, que existe una interpretación diferente. Es como si nuestro sistema visual, tomando recursos de la memoria de alto nivel, «proyectase» una plantilla (por ejemplo, un rostro de joven o de anciana) sobre los fragmentos, para facilitar su percepción.

Se podría aducir que el reconocimiento de *objetos* puede beneficiarse de procesos «descendentes» que toman recursos de la atención y el recuerdo selectivos. En cambio, la visión de contornos y superficies, del movimiento y la profundidad procede principalmente de «abajo arriba» (uno podría «ver» todas las superficies y vértices de un cubo, e incluso alargar la mano y asirlo materialmente y, a pesar de ello, no reconocer que es un cubo).

De hecho, los autores, después de pasar todo un día examinando neuronas al microscopio, se han encontrado con que, al día siguiente, «alucinábamos» neuronas por todas partes: en árboles, en hojas, en las nubes. El caso extremo de este efecto es observable en personas que se han quedado ciegas y comienzan a alucinar duendes, animales de circo y otros objetos, lo que se conoce por síndrome de Charles Bonnet. En estas personas, solo contribuyen a la percepción las señales eferentes. La desaparición de los procesos aferentes («desde la base»), debida a su ceguera (sea por degeneración macular o por cataratas), no puede ya imponer límites a sus alucinaciones. Vendría a suceder como si estuviéramos en perpetua alucinación. Y lo que denominamos «percepción de objetos» consistiría meramente en *seleccionar* la alucinación que mejor concuerda con las señales llegadas desde los sentidos, por fragmentarias que sean. La visión, en una palabra, es alucinación controlada.

Pero ¿no contradice esta afirmación lo que antes se dijo, a saber, que la visión constituye, en buena medida, un proceso aferente, «desde abajo»? La respuesta a esta paradoja es que la «visión» no consta de un solo proceso. La percepción de la «objetividad» de un objeto —su perfil, su profundidad superficial y demás ca-

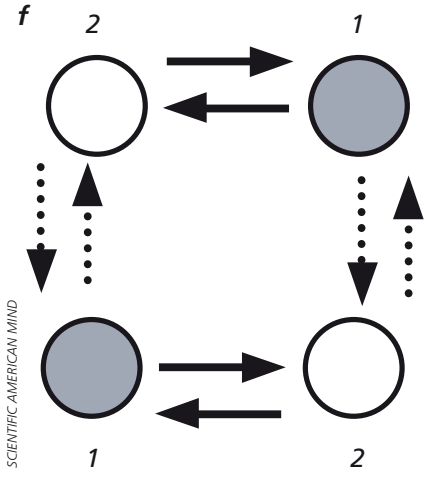
Se podría decir que percibir consiste en seleccionar la alucinación que se adapta mejor a lo que informan los sentidos

racterísticas, como ocurre cuando vemos un cubo como paralelepípedo— constituye un proceso aferente, mientras que la *identificación* y categorización de los objetos, sea en neuronas o en paraguas, es un proceso de mucho más alto nivel que se beneficia de la influencia, basada en recuerdos, de procesos eferentes.

El cómo y el qué

También la fisiología respalda esta diferenciación. Las señales aferentes desde los globos oculares empiezan procesadas en la corteza visual primaria, ubicada en la región occipital, para ser luego escindidas en dos sendas visuales: la ruta del «cómo», en el lóbulo parietal del cerebro, y la ruta del «qué», vinculada a los recuerdos, en los lóbulos temporales. La primera se ocupa de la visión espacial y la navegación, la extensión de la mano para asir algo, la evitación de obstáculos o pozos, la esquiva de proyectiles, etcétera, que no exigen en ningún caso la identificación del objeto en cuestión.

Los lóbulos temporales, por otra parte, nos permiten reconocer de qué clase de objeto se trata (un perro, un coche, una mesa). Este proceso, cabe admitir, se beneficia, en parte, de efectos «desde lo alto» basados en la memoria. Existen casos híbridos, donde ambos efectos se traslapan. Por ejemplo, en la ilusión rostros/jarrón se da un sesgo hacia las caras. Pero se puede pasar a ver el jarrón, sin necesidad de que nos digan explícitamente «busca el jarrón» si se nos indica que nos fijemos en la región blanca, por lo que la veremos en primer término en lugar de considerarla parte del fondo.



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

e. ¿CRÁTER O ISLA DE MARTE?
Pueden verse ambas cosas. Pero la imagen biestable pertenece al cráter Victoria de unos 800 metros de diámetro.

NASA / JPL / UNIVERSIDAD DE ARIZONA

¿Es posible que la percepción de figuras ambiguas, biestables, pueda quedar sesgada de algún modo si son precedidas por otras figuras inambiguas, una técnica que se denomina «precesión»? La precesión ha sido ampliamente explorada en lingüística (por ejemplo, al leer la palabra «pie» precedida por «pierna» se evoca una parte del cuerpo, mientras que si «pie» va precedida por «pulgadas» se podría pensar en una regla graduada). Es curioso que tal precesión pueda darse aun cuando la primera palabra aparezca demasiado brevemente para que se tenga conciencia de haberla leído. No se ha estudiado si la percepción puede ser «cebada» de forma similar. Quizá desee el lector experimentar con voluntarios.

Por último, como hemos señalado ya en uno de nuestros artículos, se pueden construir figuras que siempre sean ambiguas, como la horquilla del diablo o la escalinata perpetua. Tales figuras paradójicas evocan asombro, deleite y frustración a un tiempo: un microcosmos de la vida misma.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 34

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE INTELLIGENT EYE. Richard L. Gregory. McGraw–Hill, 1970.

PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO APARENTE. Vilayanur S. Ramachandran y Stuart M. Anstis en *Investigación y Ciencia*, agosto de 1986.

A CRITIQUE OF PURE VISION. P. S. Churchland, V. S. Ramachandran y T. J. Sejnowiski en *Large Scale Neuronal Theories of the Brain*, dirigido por C. Koch y J. L. Davies. MIT Press, 1994.

Percepciones paradójicas

Organización cerebral de las imágenes contradictorias

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Las paradojas, situaciones en las que una misma información puede llevarnos a dos conclusiones contradictorias, causan a la vez placer y tormento. Son fuente de interminable fascinación y frustración, tanto si su carácter es lógico («Esta afirmación es falsa», versión moderna de la paradoja de Epiménides), científico... o perceptivo. Peter Medawar, premio Nobel, dijo en cierta ocasión que estos rompecabezas provocan sobre científicos y filósofos el mismo efecto que el olor de goma quemada en los ingenieros: un ansia irresistible de averiguar la causa. Siendo los autores de este artículo neurocientíficos que estudian la percepción, nos sentimos obligados a abordar la naturaleza de las paradojas visuales.

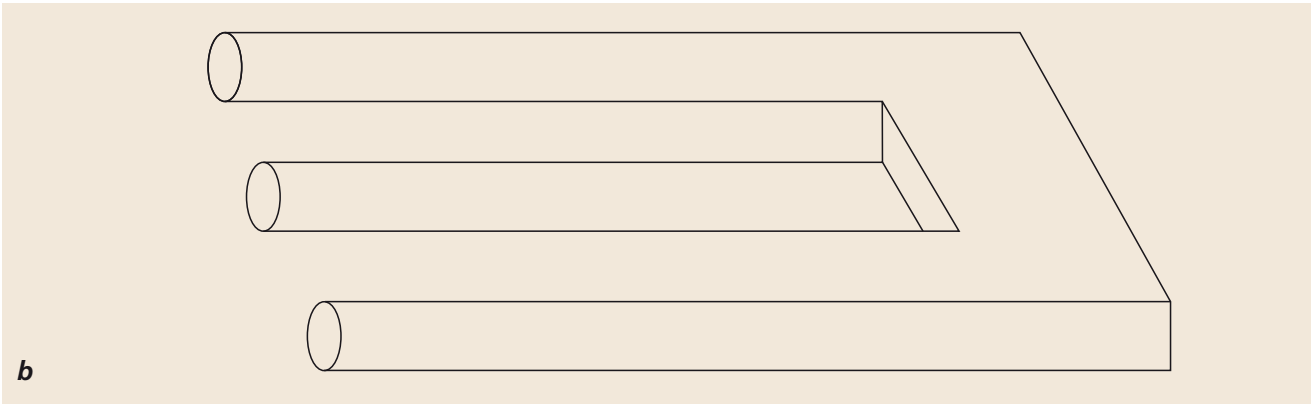
Tomemos el caso más sencillo. Si dos o más fuentes de información distintas no son coherentes entre sí, ¿qué sucede? Lo usual es que el cerebro se incline por la que resulte estadísticamente más fiable y prescinda, sin más, de las otras. Por ejemplo, si se observa el interior de una máscara hueca a bastante distancia, la cara parecerá normal, es decir, convexa, a pesar de que nuestra visión estereoscópica indique que la máscara es, en realidad, el vaciado de una cara, es decir, cóncava. En este caso, la experiencia acumulativa de nuestro cerebro con rostros convexos se impone y veta la percepción del caso inusitado de que una cara sea hueca.

Más desconcertantes se nos ofrecen las situaciones en las que la percepción contradice a la lógica, haciendo ver «figuras imposibles». Es probable que el pintor y grabador William Hogarth crease la primera de tales figuras en el siglo XVIII (*a*). Una mirada rápida no revela en esta imagen nada anormal. Pero tras una inspección más atenta, no tardamos en apre-

WIKIMEDIA COMMONS (*a*); *SCIENTIFIC AMERICAN MIND* (*b*, *c* y *e*)

a

¿Son las figuras imposibles paradojas genuinas en el dominio de la percepción propiamente dicha?



b

ciar que es lógicamente imposible. Otro ejemplo es el clásico «tridente del diablo» o paradoja de Schuster (*b*). Estas figuras imposibles plantean profundas cuestiones sobre las relaciones entre percepción y racionalidad.

En tiempos modernos, el interés por tales efectos resucitó debido, en parte, al pintor Oscar Reutersvärd. Conocido como «el padre de las figuras imposibles», este artista sueco ideó numerosas paradojas geométricas; entre ellas, la «escalinata sin fin» y el «triángulo imposible». Ambas paradojas fueron desarrolladas por Lionel y Roger Penrose, padre e hijo y afamados científicos; en *c* aparece su versión de lo que hoy se conoce como triángulo de Penrose.

El artista holandés M. C. Escher insertó tales figuras en sus grabados, travesuras con las que exploraba el espacio y la geometría. Fijémonos en la reproducción de la escalinata de Escher (*d*): ningún tramo individual de la escalinata resulta, por lógica, imposible ni ambiguo, pero el conjunto sí aparece como lógicamente inviable: uno podría subir por siempre jamás la escalinata, siempre en círculos, sin llegar nunca al último peldaño. La ilustración puede servir de símbolo y epítome de la condición humana: siempre en busca de la perfección, sin lograr alcanzarla nunca del todo.

¿Es esta escalera una auténtica paradoja perceptiva? Es decir, ¿es el cerebro incapaz de construir un percepto (elemento de percepción) coherente, porque tiene que habérselas simultáneamente con dos percepciones contradictorias? Nosotros pensamos que no. La percepción, casi por definición, debe ser una y estable en todo momento, ya que su propósito es provocar en nosotros una acción adecuada y dirigida a un fin. De hecho, algunos filósofos se han referido a la percepción como «disposición condicional para actuar», definición que puede parecer algo exagerada.

Si dos o más fuentes de información distintas no son mutuamente coherentes, ¿qué sucede?

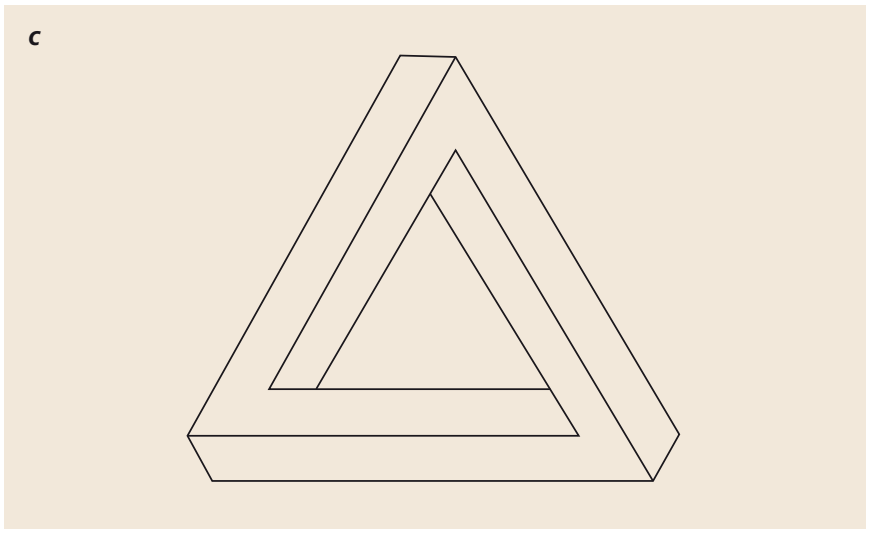
A pesar de la generalizada opinión de que «vemos lo que creemos», la verdad es que los mecanismos perceptivos funcionan «con el piloto automático» al computar y señalar diversos aspectos del entorno visual. No podemos elegir lo que vemos, ni lo que deseamos ver. (Si le muestro un león azul, lo verá de color azul. No tiene la opción, «voy a verlo de color pardo, porque así es como debe ser».)

En cambio, la paradoja de la figura *d* surge porque el mecanismo perceptivo efectúa un cómputo local que señala «escalinata ascendente», mientras que el mecanismo conceptual/intelectual deduce que es lógicamente imposible que una escalinata ascendente forme un bucle cerrado.

La percepción se propone computar rápidamente respuestas aproximadas que resulten aceptables para la supervivencia inmediata; no conviene rumiar sobre si el león se halla cerca o lejos. El objetivo de la concepción racional —de la lógica, si se quiere— consiste en tomarse tiempo para producir una evaluación más precisa.

¿Son paradojas genuinas?

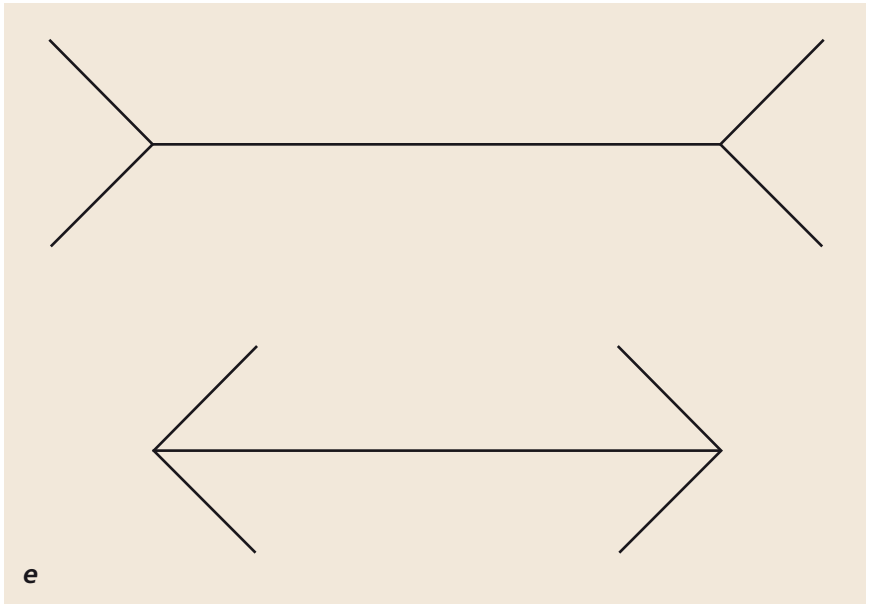
Aparte del triángulo, sobre el que volveremos, ¿son las figuras imposibles paradojas genuinas en el dominio de la propia percepción? Podría decirse que la percepción, en sentido estricto, conserva o parece conservar su coherencia interna, así como que



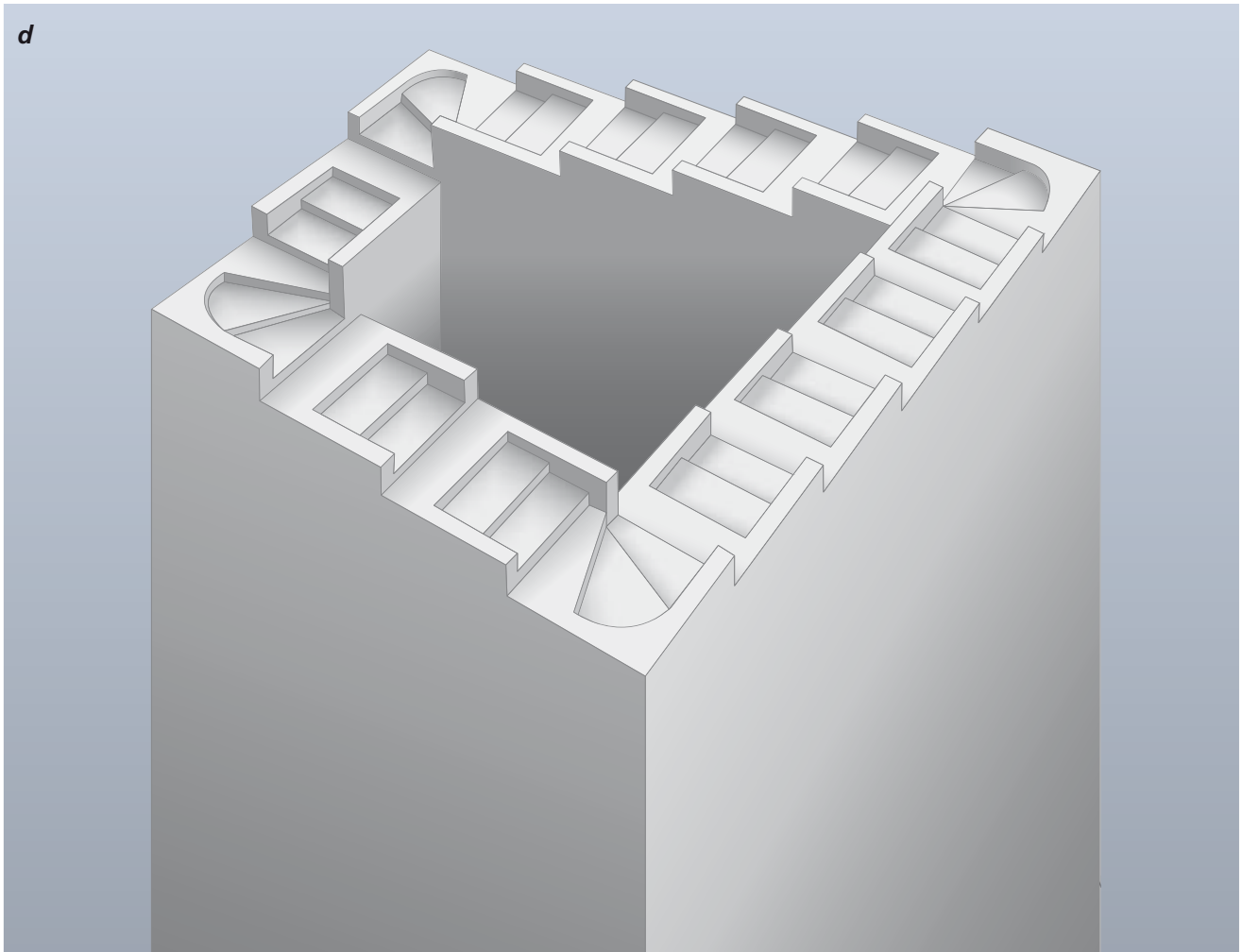
c

un percepto genuinamente paradójico es un oxímoron. La escalinata no encierra una paradoja mayor que las ilusiones ópticas, como la de Mueller-Lyer (*e*), en la que dos trazos de la misma longitud parecen de distinta largura, aunque podamos convencernos intelectualmente de su longitud idéntica después de medir las líneas. El conflicto se presenta entre percepción e intelecto; no se trata de una paradoja auténtica y estricta de la propia percepción. Por otra parte, «Esta afirmación es falsa» sí constituye una paradoja plena en el dominio conceptual/lingüístico.

Otra percepción vigorosa es el efecto secundario del movimiento. Si nos fijamos durante un minuto en las franjas que se mueven en un sentido, y luego posamos la vista sobre un objeto estacionario, nos da la impresión de que dicho objeto se mueve en sentido opuesto al de las franjas. Tal efecto surge porque nuestro sistema visual posee neuronas detectoras de movimiento que señalan diferentes direcciones; las franjas que viajan constantemente en una misma dirección «fatigan» a las neuronas que normalmente señalarían esa dirección [*véase* «Estabilidad del mundo visual», por Vilayanur S. Ramachandran y Diane Rogers-Ramachandran; MENTE Y CEREBRO, n.º 22]. El resultado es un «rebote» responsable de que incluso los objetos estacionarios parecen moverse en sentido contrario.


e

Curiosamente, sin embargo, al mirar al objeto, este parece moverse en una dirección, aunque sin alcanzar ningún destino: no progresa hacia una meta. Este efecto suele anunciarse como una paradoja perceptiva: ¿cómo puede parecer que algo se mueve sin cambiar de ubicación? Una vez


d

MENTE Y CEREBRO

más, no es el percepto en sí lo paradójico; antes bien, se señala con claridad que el objeto se mueve. Es nuestro intelecto el que deduce que el objeto no se mueve e infiere de ello una paradoja.

Fijémonos en una situación contraria mucho más familiar. Tenemos la certeza (deducimos) que la manecilla horaria del reloj se mueve, a pesar de que parezca estacionaria. Sencillamente, no se mueve con la rapidez suficiente para excitar a las neuronas detectoras de movimiento. Pero nadie diría que el movimiento de la manecilla es paradójico.

Frontera entre percepción y cognición

Existen casos fronterizos, como prueba el ejemplo del «tridente del diablo». En este dibujo algunas personas alcanzan a «ver» el todo de una sola ojeada. Las señales perceptivas locales y globales se perciben como una sola forma, sin contradicciones internas. Es decir, se puede aprehender el todo de una sola ojeada y apreciar su naturaleza paradójica sin pensar en ello. Tales figuras nos recuerdan que, pese a la naturaleza modular y cuasi-autónoma de la percepción y de su aparente inmunidad en relación con el intelecto, la frontera entre percepción y cognición puede resultar difusa.

Con el triángulo imposible acontece algo similar. Tal como ha demostrado Richard L. Gregory, de la Universidad de Bristol, puede construirse un complejo objeto tridimensional (*f*) que producirá la imagen de *g* al observarse desde un punto especial, bien determinado. Visto desde allí, el objeto parece un triángulo confinado a un plano. Pero nuestra percepción rechaza sucesos tan sumamente improbables, aun cuando nuestro intelecto se halle convencido de su posibilidad (tras mostrarle la vista *g*). Así pues, a pesar de comprender conceptualmente la inusitada forma del objeto *f,* sigue viéndose un triángulo cerrado al mirar *g* en lugar de ver el objeto (*f*), que es su origen real.

¿Cómo verificar empíricamente dichas ideas? En la escalinata de Escher, podríamos sacar partido del carácter casi instantáneo de la percepción, mientras que la reflexión requiere tiempo. Se podría, pues, presentar el grabado durante un breve tiempo (lo bastante como para evitar que la cognición entre en escena: una décima de segundo tal vez), seguido por un estímulo de enmascaramiento que impida que el procesamiento visual continúe tras retirar la figura de prueba. La predicción sería que la figura dejaría de parecer paradójica, salvo que la duración del estímulo se alargase lo suficiente. Otro tanto podría valer para el tridente del diablo, con mayores probabilidades de ser una auténtica paradoja perceptiva. En este caso, la máscara quizá se muestre incapaz de diseccionarlo en dos fases (percepción o cognición) diferenciadas. Tal vez se reduzca a una cuestión de escala o de complejidad.

Cualesquiera que sean los orígenes de las paradojas, a todos nos intrigan esas figuras enigmáticas. Excitan sin cesar nuestros sentidos y ponen a prueba todas nuestras nociones sobre qué es real y qué ilusión. La vida humana, según parece, está deliciosamente hechizada por lo paradójico.

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 46

La percepción es de carácter casi instantáneo, mientras que la reflexión requiere tiempo

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

A NEW AMBIGUOUS FIGURE: A THREE-STICK CLOVIS. D. H. Schuster en *American Journal of Psychology*, vol. 77, pág. 673, 1964.

THE INTELLIGENT EYE. Richard L. Gregory. McGraw-Hill, 1970.

Mesas en perspectiva

Pese a que nuestro entorno es tridimensional, su imagen en la retina aparece plana. Necesitamos que el cerebro reconstruya la tercera dimensión. No obstante, el proceso puede llevar a errores

RAINER ROSENZWEIG

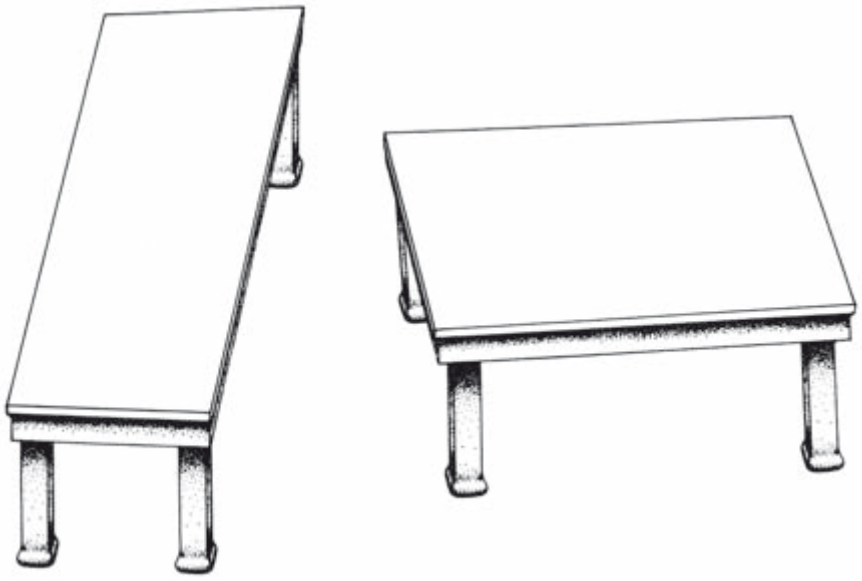
Observe el lector por unos instantes las dos mesas ilustradas en la imagen *a*. ¿Cuál es más grande? A primera vista, decantarse por una u otra resulta comprometido. Con todo, parece indiscutible que ambas superficies son dispares: mientras que una presenta una forma más alargada y estrecha, la otra resulta más corta y ancha.

¡Ni mucho menos! Ambas mesas son del mismo tamaño y forma. Si al lector le asalta la duda, recorte un trozo de papel siguiendo el contorno de una de las dos superficies; a continuación coloque el retazo sobre la otra figura. ¿Impresionado? ¿Cómo es posible que se origine tal ilusión óptica?, puede que se pregunte.

La solución al enigma se esconde tras unas mesas mal dibujadas. Las tablas ilustradas no presentan un efecto de perspectivas, ya que para ello el lado más alejado debería ser más estrecho. Es decir, la forma trapecial de la mesa izquierda debería ser más pronunciada que en el caso de la mesa derecha, puesto que la primera se proyecta más en el fondo desde el punto de vista del lector.

Igual de distorsionada se reproduce la imagen de una mesa real en nuestra retina. El sistema visual está acostumbrado a la distorsión causada por la perspectiva, que compensa de forma activa. Durante el procesamiento de información visual, el cerebro contrarresta la deformación sin que podamos influir en ello.

Ya que en este caso no existe el efecto de perspectiva, la compensación automática del encéfalo conduce a la conclusión errónea de que las dos superficies poseen tamaños distintos. Sin embargo, si se borran los bordes y las patas de las mesas, la ilusión desaparece casi por completo (*b*): al cerebro le faltará la información espacial y, por consiguiente, no llevará a cabo ninguna corrección.



TODAS LAS IMÁGENES DE ESTE ARTÍCULO: CORTESÍA DE ROGER N. SHEPARD

a. MESAS DE SHEPARD
¿Son iguales estas mesas? La solución se encuentra en *b*.

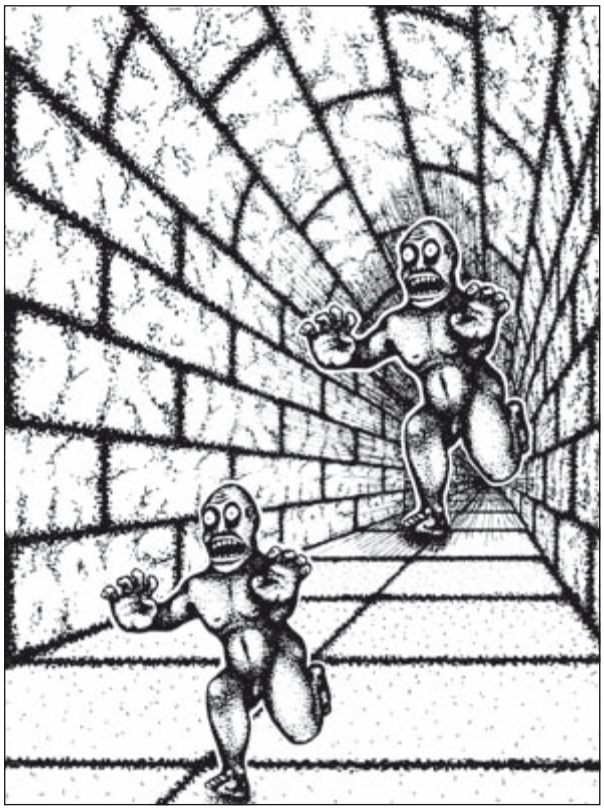
b. ILUSIÓN DESVANECIDA
Estas tablas son las mismas que las que aparecen en *a*, pero sin bordes ni patas. De este modo, la ilusión desaparece casi por completo: ambas superficies tienen la misma forma y tamaño. Mídalas.

El científico cognitivo Roger Newland Shepard, de la Universidad Stanford, es el descubridor de este fenómeno. Desde los años cincuenta del siglo XX estudia el procesamiento espacial de informaciones visuales. En este tiempo, Shepard ha desarrollado una serie de ilusiones ópticas fascinantes, de las que, en parte, él mismo ha dibujado las ilustraciones. Entre ellas, la de un elefante con unas patas imposibles (*d*), así como la inquietante persecución titulada *Terror subterra* (*c*).

Volvamos a la ilusión óptica de las mesas. Vemos que confirma dos fenómenos fundamentales de la percepción. El primero: no somos capaces de «desactivar» nuestra propensión a caer en las ilusiones ópticas. Incluso conociendo la solución del enigma

y teniéndola en cuenta al observar la imagen ilusoria, somos incapaces de reconocer la congruencia de las dos superficies. Los juegos de magia nos impresionan menos cuando conocemos el truco que albergan detrás, cosa que no sucede en el presente caso: la ilusión óptica persiste. Esta es producto del procesamiento sensorial.

En segundo lugar, la ilusión se asienta en una función básica de la percepción. Basándose en la información disponible, nuestra percepción debe proporcionarnos de forma rápida una imagen del entorno. En la naturaleza, una capacidad de orientación rápida resulta vital, puesto que la vacilación suele resultar contraproducente, en especial si se trata de reconocer el peligro a tiempo. Por tal motivo, el cerebro debe interpretar en todo momento; de este modo podemos actuar de forma adecuada en cada situación.



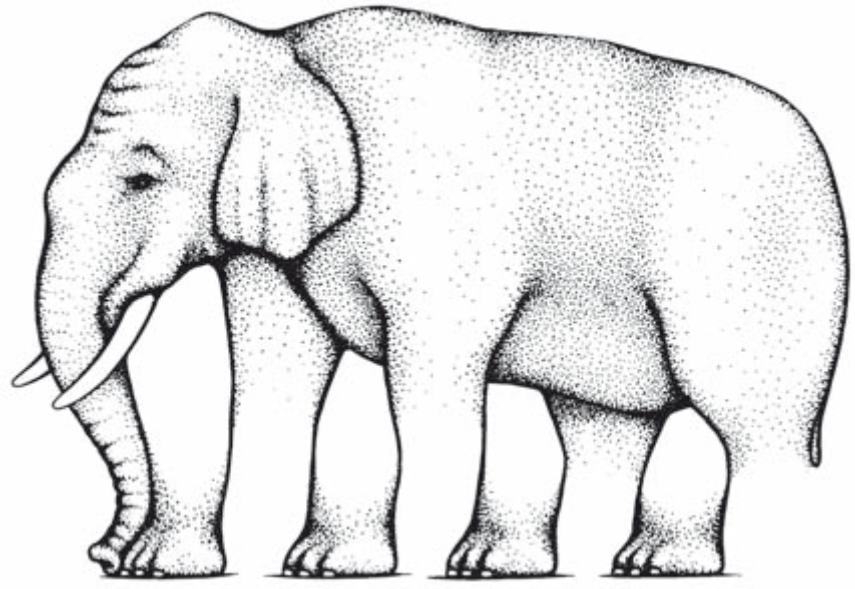
c. PERSEGUIDOR Y PERSEGUIDO
El pobre hombrecillo en primer plano parece huir de un enorme monstruo. La expresión del perseguido transmite miedo, mientras que la cara del perseguidor aparece peligrosa y amenazante. Sin embargo, las dos figuras son idénticas en tamaño y expresión. La interpretación de nuestro cerebro se encuentra subordinada a la disposición abovedada del túnel, así como al contenido emocional de la escena.

El punto de vista que elijamos es el que acaba determinando aquello real o verdadero. En el caso de las mesas de Shepard se nos plantea la cuestión de si interpretamos la imagen de forma espacial o si solo nos centramos en las medidas de las superficies bidimensionales. Puesto que nuestro entorno suele ser tridimensional, en nuestra retina tendemos, de forma automática, a interpretar una imagen con perspectiva. Por consiguiente, el resultado de la percepción se diferencia de la proyección del objeto visto en nuestra retina.

Esta ilusión ilustra, además, un principio importante de la metodología científica: demuestra que el ser humano no se encuentra indefenso ante las ilusiones ópticas, ya que es capaz de comprobar y verificar las percepciones mediante experimentos. A veces, una simple medición puede corregir una primera impresión.

En conclusión, podemos esquivar la limitación de nuestra percepción directa mediante procedimientos indirectos (en el caso de las mesas de Shepard nos ha bastado con una simple plantilla). Sin duda, el razonamiento crítico aporta a cada individuo aquello que la metodología científica ofrece a la humanidad: una capacidad de discernimiento más allá de la simple percepción visual.

d. ELEFANTE IMPOSIBLE
¿Cuántas patas tiene el animal?



Rainer Rosenzweig, doctor en psicología de la percepción, dirige del museo experimental Turm der Sinne («Torre de los sentidos»), en Núremberg.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 51

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

PSYCHOLOGICAL COMPLEMENTARITY.
R. N. Shepard en *Perceptual Organization*, dirigido por M. Kubovy y J. R. Pomerantz, págs. 279-341, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1981.

MIND SIGHTS: ORIGINAL VISUAL ILLUSIONS, AMBIGUITIES AND OTHER ANOMALIES.
R. N. Shepard. Freeman & Company, Nueva York, 1990.

Ilusiones táctiles

Sorprendentes confusiones que revelan el procesamiento cerebral de la información táctil

VILAYANUR R. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

Los humanos, como todos los primates, dependemos del órgano de la visión. La mayor parte de la región occipital del cerebro está dedicada al procesamiento visual; la mitad de la corteza participa en la visión. Además, cuando las señales visuales entran en conflicto con las procedentes de otros sentidos, la visión suele predominar. Esta supremacía explica, por ejemplo, que los ventrílocuos resulten tan convincentes. Vemos «hablar» al muñeco y nos dejamos convencer de que la voz procede de él, situación que se conoce por captura visual. (Sin embargo, al cerrar los ojos, percibimos correctamente que la presunta voz del muñeco procede en realidad del ventrílocuo.)

Cuando las informaciones visuales y las táctiles resultan incompatibles, la predominancia visual puede hacernos sentir las cosas de un modo distinto de cuando solo prestamos atención al tacto (sin mirar).

Curvado al tacto

Hace más de setenta años, James Gibson (1904-1979) ofreció una demostración sencilla, aunque atractiva y convincente. Se le pide al sujeto que palpe una varilla de metal, recta y corta, manteniendo los ojos cerrados. Desde luego, percibe que es recta. Después ha de soltarla, abrir los ojos y mirarla. La barrita es la misma, pero sin que el sujeto lo sepa va a mirarla a través de un prisma en cuña, con lo que la barrita se ve curvada, no recta. E informa que está viendo una barrita curva. Mas ¿qué ocurre cuando alarga la mano y vuelve a tocarla mientras la está viendo? Los sujetos no informan de cambio alguno: no aprecian conflicto, inestabilidad ni promediación entre los sentidos de la vista y el tacto. La varilla que al mirar les pareció curva, les siguió pareciendo curva al volver a tocarla.

a

JASON LEE

Cuando el sujeto vio su mano sana reflejada en el espejo, sintió resucitar la mano fantasma

En breve, la visión reorienta la percepción táctil, de modo que no se experimente conflicto. De forma análoga, Irvin Rock (1922-1995) demostró que, cuando se hacía entrar en conflicto sensorial la percepción de forma o el tamaño de objetos sencillos individuales (por introducción de lentes deformantes), la percepción proporcionada por la palpación activa era modificada para que se adaptase a la percepción visual.

Tenemos otro ejemplo más de influencia de la vista sobre el tacto en personas que sienten miembros fantasma. La mayoría de quienes han sufrido la amputación de un brazo continúan sintiendo vívida-

Así pues, el cerebro interpreta la experiencia táctil como «he de tener dos narices»

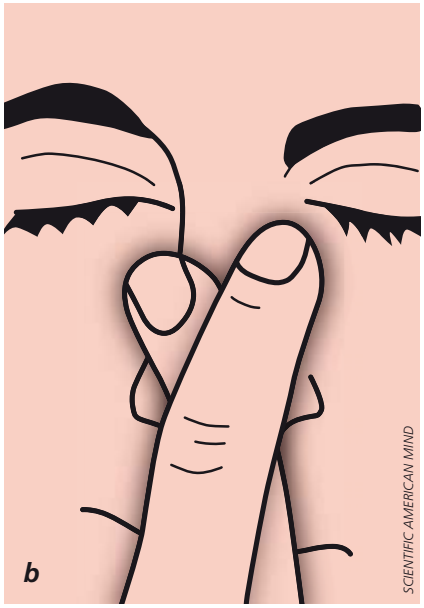
mente la presencia de la extremidad, fenómeno denominado «miembro fantasma» a finales del siglo XIX por Silas Weir Mitchell. Muchas personas afirman que su miembro amputado está congelado, paralizado en una postura fija o constante, y que ello, a veces, les resulta doloroso.

Nos hemos preguntado si las sensaciones táctiles en el brazo fantasma podrían ser modificadas mediante señales visuales. Para ello, colocamos un espejo en la mesa delante del probando, en plano medial, y le pedimos que situase simétricamente con relación al espejo el brazo intacto y el muñón o mano fantasma (*a*). Al ver reflejada su mano normal en el espejo, el individuo sintió resucitar visualmente su miembro fantasma. Y lo que es más notable, si movía su mano normal mientras miraba la imagen que se reflejaba en el espejo, el miembro fantasma antes «congelado» parecía adquirir movilidad. No solo veía moverse esta falsa mano, sino que la *sentía* moverse. En algunos casos, la sensación parecía aliviar el dolor asociado con el fantasma.

El efecto de captura visual nos indica que precisamos una descripción unívoca y razonable del mundo que nos rodea. Es decir, nosotros (nuestro cerebro) tendemos a reinterpretar o descartar información, aunque al hacerlo puedan producirse errores o ilusiones (como en el caso del ventrílocuo). Esta influencia de la visión ha suscitado una suerte de sesgo de preferencia hacia ella; ha causado también que los investigadores le dediquen menor atención a los demás sentidos.

¿Estás mal de la cabeza?

No han sido estudiados con detalle los fundamentos neuronales de estas ilusiones intermodales. Trabajos de Krish Sathian, de la Universidad de Emory, y de Alvaro Pasqual-Leone, de Harvard, llevan a conjeturar que, en determinadas circunstancias, las señales somatosensoriales (las relacionadas con el tacto) son observables en la corteza visual primaria; así, en los ciegos que leen Braille. Las señales táctiles procesadas en los centros somatosensoriales del cerebro podrían enviar de vuelta señales de realimentación hasta las etapas iniciales del procesamiento visual, en vez de ser meramente combinadas en algún nivel más elevado. Los estudios sobre captura visual sugieren también que la recíproca pudiera ser cierta; es decir, que las señales visuales que nos llegan tal vez se proyecten sobre la corteza somatosensorial primaria. Estas interacciones entre los sentidos, además de informarnos sobre mecanismos cerebrales para el procesamiento de información, pueden proporcionar un instrumento útil en la rehabilitación de trastornos neurológicos.



Quisiéramos examinar aquí algunas ilusiones táctiles que guardan una notable semejanza con las ilusiones visuales. Ensaye el lector el siguiente experimento. Coloque dos monedas en el refrigerador hasta que estén frías (tardarán unos 20 minutos). Retírelas y deposítelas sobre una mesa, a uno y otro lado de una moneda idéntica que se encuentre a temperatura ambiente, alineadas las tres. Ponga ahora las yemas de los dedos índice y anular de una mano sobre las monedas frías, y el dedo corazón sobre la central. Se sentirá que la moneda del dedo medio también está fría.

Es posible que las rutas cerebrales de percepción de la temperatura carezcan de poder de resolución para discernir dos fuentes discretas. Sin embargo, en el dedo corazón no se produce la sensación de frío a menos que esté en contacto con una moneda neutra; si no existen sensaciones táctiles procedentes de él, el cerebro se muestra reacio a «rellenar» el hueco o a adscribir a esta región la sensación de frío.

Pero, ¿cuán «listo» es este mecanismo de relleno? ¿Y si hacemos presión con el dedo corazón sobre una superficie aterciopelada o sobre papel de lija, en lugar de una moneda? ¿Será la sensación parecida a la correspondiente a los dedos índice y anular? Y de ser así, ¿hasta qué punto? ¿Podría esta interpolación de la sensación fría tener lugar al principio del procesamiento sensorial; por ejemplo, en la médula espinal o en el tálamo (el portillo de ingreso en el cerebro de las señales que envían los sentidos)? ¿O bien se produce «en la cumbre», en etapas posteriores de procesamiento cerebral?

Una forma de averiguarlo consiste en ver qué ocurre si alzamos el dedo corazón y en su lugar colamos por debajo el dedo corazón *de la otra mano*. Ahora la ilusión desaparece, lo que nos hace pensar que la interpolación debe producirse en un estadio temprano del procesamiento de información, no en los niveles elevados de representación espacial en el cerebro. (Sabemos que esto ha de ocurrir en un estadio temprano, porque las señales sensoriales procedentes de ambas manos se proyectan en diferentes hemisferios cerebrales; por consiguiente, las informaciones que nos llegan desde ellas solamente pueden ser comparadas en una fase avanzada del procesamiento.)

¿Y si las dos monedas exteriores se encontrasen, respectivamente, muy caliente una, y la otra fría como el hielo? ¿Sentiríamos la moneda central a la temperatura promedio o iríamos cambiando de sentir, oscilando entre una y otra? ¿Y qué ocurriría en un caso intermedio? Supongamos

Los discos centrales de ambas configuraciones son iguales, pero el izquierdo parece mayor porque está rodeado por discos pequeños

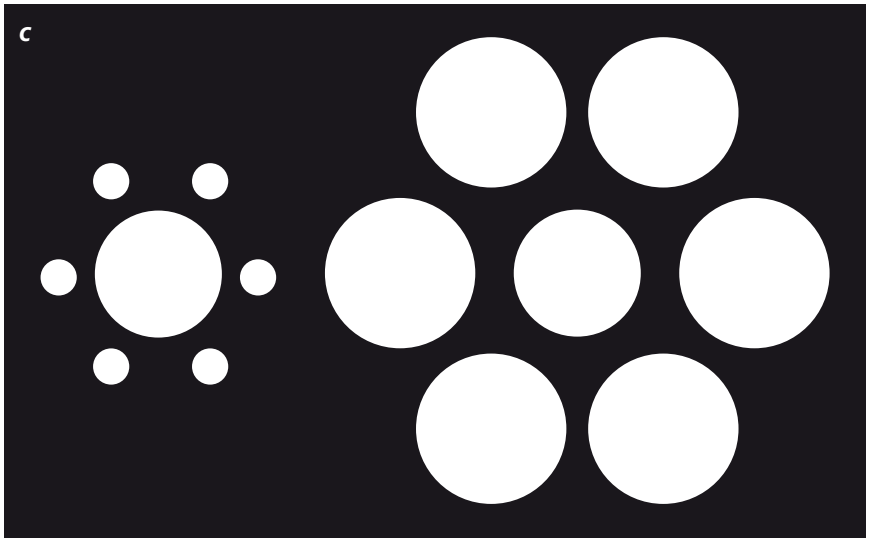
que cruza el dedo índice por debajo del dedo corazón, formando ahora una línea en la que el índice se encuentra entre el corazón y el anular, siendo estos dos los que descansan sobre las monedas frías. ¿Sentirá frío en el dedo índice, debido a su posición espacial intermedia?

Los lectores pudieran desear inventar experimentos de su cosecha; por eso resulta tan interesante el estudio de la percepción. No es necesario ser un experto para realizar experimentos de profundas consecuencias.

Probemos ahora algo diferente. Haga cabalgar el dedo corazón de la mano izquierda sobre el índice de esa misma mano, de modo que las yemas de estos dedos formen una V. Colóquese ahora la V creada por los dedos sobre la nariz (*b*). Sorprendentemente, mucha gente que realiza esta «ilusión de Aristóteles» informa que experimenta una clara sensación de poseer dos narices. ¿Cómo explicarlo?

Una vía interpretativa del fenómeno consiste en darse cuenta de que en la disposición espacial normal de los dedos, la única forma de que el costado *izquierdo* del dedo corazón izquierdo sea estimulado al mismo tiempo que el lado *derecho* del índice izquierdo es que esos dedos estén tocando dos objetos. Así pues, el cerebro interpreta la experiencia táctil como: «Forzosamente he de tener dos narices». Según Stuart Anstis, de la Universidad de California en San Diego, la nariz no es el único apéndice en el que resulta posible producir la impresión de duplicación perceptiva.

Examinemos, por último, la ilusión óptica (*c*). Aunque no se lo parezca, el disco central del grupo de la izquierda es de igual tamaño que el central de la derecha, pero el izquierdo parece mayor, porque está rodeado de círculos pequeños. Esta ilusión nos demuestra de manera inequívoca la naturaleza contextual de la percepción. (Los escépticos pueden hacerse un oclusor de cartulina con dos agujeros para comparar directamente los círculos centrales.) ¿Existe para el tacto un efecto equivalente?



SCIENTIFIC AMERICAN MIND

¿Jalea o terciopelo?

La demostración siguiente puede constituir un efecto relacionado. Hágase con un trozo de tela metálica de malla grande (como la de las jaulas de pollitos), montado, de ser posible, en un bastidor de madera. Sostenga la tela metálica entre las palmas de las manos. Hasta aquí, nada especial. Comience ahora a frotarse las palmas de las manos, una contra otra, con la tela metálica de por medio. Cosa notable: sentirá usted que las palmas parecen ser de una jalea o de terciopelo. Se desconocen las causas de semejante ilusión. Cabe la posibilidad de que tengan que ver con el sentir y señalar del contraste entre el fino alambre y las sensaciones táctiles «neutras» de piel sobre piel, al ser lo nítido y duro contrario de lo aterciopelado o gelatinoso. Se puede encontrar una versión de esta ilusión en algunos museos de ciencia.

Podemos incluso conseguir que las manos «floten», un truco bien conocido. El efecto Kohnstamm, así se llama, nos fue recordado por nuestro hijo, cuando tenía 11 años. Sitúese en el umbral de una puerta y haga fuerza con ambos brazos hacia afuera sobre los lados del marco, como si pretendiera alejarlos de su cuerpo. Después de unos 40 segundos, deje bruscamente de empujar, relájese y permanezca de pie, con los brazos caídos a los costados. Si es usted como la mayoría de nosotros, sus brazos se elevarán de forma involuntaria, como alzados por unos invisibles globos de helio. ¿Motivo? Cuando se aplica continuamente una fuerza hacia el exterior, el cerebro se habitúa a que este sea el «estado neutro», por lo que, al cesar el empuje, los brazos tienden a moverse hacia fuera.

Esta sencilla demostración revela que las áreas sensoriales de nuestro cerebro no son meros receptores pasivos de señales procedentes de los órganos de los sentidos. Antes bien, debemos considerar que se encuentran en un equilibrio dinámico con el mundo exterior, un punto de equilibrio en constante desplazamiento en respuesta a un entorno cambiante.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 36

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE SENSORY HAND: NEURAL MECHANISMS OF SOMATIC SENSATION. Vernon Mountcastle. Harvard University Press, 2005.

MENTE y CEREBRO Cuadernos

También disponibles los números 1 y 2

Cada número de esta colección sobre los grandes temas de la psicología y las neurociencias incluye los mejores artículos publicados en **MENTE y CEREBRO**, completados con otros inéditos

PRÓXIMOS TÍTULOS

Publicación cuatrimestral

- Las neuronas
- Desarrollo infantil
- Personalidad y conducta social
- Las claves del sueño
- Enfermedades neurodegenerativas

www.investigacionyciencia.es

Prensa Científica, S.A.

EL OJO DEL ESPECTADOR

En el taller de las imágenes

¿Cómo llegan los estímulos visuales a nuestra mente? El cerebro desempeña una labor esencial en ello. Entre otros procesos, organiza al menos trece versiones de una misma imagen

THOMAS GRÜTER

RESUMEN

Cómo el cerebro ve el mundo

1 Nueve de cada diez señales que llegan a la corteza visual primaria no proceden directamente del nervio óptico. El cerebro construye lo que vemos.

2 Las células de Müller conducen la luz a través de la retina a modo de «fibras de vidrio vivas».

3 El cerebro procesa varias versiones paralelas del entorno. Regiones cerebrales especializadas se encargan de la percepción de las formas, los colores o los movimientos.

Cada vez que abrimos los párpados comienza una hazaña en el cerebro. La tarea que se le encomienda reza: crea una imagen de aquello que me rodea, que sea tridimensional y en color. Lo que a priori parece un fenómeno natural constituye en realidad una proeza del encéfalo, pues en el mundo físico no existen los colores, solo radiaciones electromagnéticas con determinadas longitudes de onda. El modo en que el cerebro elabora una imagen nítida y multicolor del mundo a partir de esas radiaciones es desde hace siglos motivo de investigación. Y también de sorpresas.

La luz visible para los humanos tiene una longitud de onda de entre 400 y 800 nanómetros. La superficie de un objeto (póngase por caso una flor) refleja solo una parte de los rayos luminosos que le llegan y absorbe el resto. Los tallos y las hojas devuelven principalmente los rayos con una longitud de onda de unos 520 nanómetros (luz verde). Estos penetran en el ojo, son refractados por el cristalino y se proyectan en forma de pequeña imagen invertida en la retina, una suerte de pantalla situada en la parte posterior del ojo.

En la retina existen dos tipos fundamentales de células sensibles a la luz: alrededor de 120 millones de bastones y unos 6 millones de conos. Aunque los primeros reaccionan en la penumbra, transmiten una imagen del mundo poco nítida y no distinguen entre longitudes de onda. Los conos, por su parte, se dividen en tres tipos según su sensibilidad a las áreas del espectro: los conos K reaccionan con más intensidad a la luz de onda corta (azul); los conos M, a los rayos de onda media (luz verde), y los conos L, a la luz de onda larga (roja). Por ello, las ondas reflejadas por los tallos de la flor activan en la retina principalmente conos M, en los que provocan un impulso eléctrico.

Ambos tipos principales de fotorreceptores se distribuyen en la retina de manera desigual.

© DREAMSTIME / ARENA CREATIVE

UNA VENTANA AL MUNDO
El iris regula la cantidad de luz que penetra en la retina a través de la pupila. Desde allí hasta la imagen definitiva existe un trayecto largo y laborioso. El cerebro se encarga de la parte más importante de este trabajo.

En la fóvea solo existen, compactados unos con otros, conos sensibles a los colores. Esa pequeña área (alrededor de una diezmilésima parte de la superficie total de la retina, es decir, poco más pequeño que esta *o*) permite ver con nitidez. Entonces ¿por qué creemos percibir con la misma claridad todo lo que se encuentra en nuestro campo visual? El efecto se debe a un truco del cerebro: fijamos la mirada en los detalles que nos interesan, de manera que los llevamos al centro de la visión más aguda antes de seguir vagando con la mirada.

Un circuito complejo

Aunque los conos y los bastones son sensibles a la luz, no se hallan conectados directamente con el nervio óptico: primero transmiten los impulsos eléctricos a las células nerviosas bipolares, que a su vez se encuentran conectadas, de forma individual o junto a otras, con una célula ganglionar. Los axones de las células ganglionares son los que, al final, cual nervio óptico, conectan el ojo con el cerebro. En cada nivel, células especializadas se encargan del intercambio de información entre células vecinas.

Esos puntos de conexión pulen las señales primarias «en bruto» de los fotorreceptores. La inhibición lateral entre neuronas vecinas aumenta el contraste, pues los distintos tipos de conos dan una respuesta muy poco nítida: un receptor del tipo L no responde solo a la luz roja, sino también a la verde, si bien la señal que envía es más débil que la de los conos de tipo M. En la retina existen neuronas especializadas que calculan ambos valores y transmiten la información acerca de si se trata de luz más bien verde o roja.

Paradójicamente, esas estaciones intermedias se encuentran antes que los fotorreceptores en el camino de la luz a través de la retina, es decir, se alojan más cerca del centro del ojo. De esa manera, los rayos luminosos que inciden en la

VOCABULARIO

Axón
Prolongación de una célula nerviosa que transmite la señal eléctrica a otras neuronas, algunas de las cuales se encuentran muy alejadas.

Células gliales
Células del sistema nervioso central que, al contrario que las neuronas, no transmiten señales eléctricas, sino que dan soporte a estas y las abastecen de nutrientes.

Receptor
Célula sensorial especializada que transforma los estímulos externos en un impulso eléctrico que el sistema nervioso puede seguir procesando. Las células fotosensibles del ojo reciben el nombre de fotorreceptores.

retina deben atravesar varias capas de células antes de dar con los conos y bastones que se hallan en la periferia retiniana. Pese a que los cuerpos celulares de las capas internas son bastante transparentes, los investigadores siempre han mostrado asombro por esta estructura que, en apariencia, posee una técnica absurda.

En 2007, el equipo de Kristian Franze, de la Universidad de Leipzig, descubrió que millones de fotoconductores atravesaban la retina: se trataba de las células de Müller. Hasta entonces se creía que esas células gliales alargadas, que se extienden por todas las capas de la retina, constituían una especie de armazón que daba estabilidad a las neuronas y las abastecía de nutrientes, de forma similar a lo que sucede con las células gliales del cerebro. Sin embargo, Franze y sus colaboradores demostraron que las células de Müller desempeñan una función más: conducen los rayos de luz a través de las diversas capas de la retina sin que apenas se produzcan pérdidas. Su estructura parece creada para tal fin: contiene pocos elementos refractantes (mitocondrias) y se compone de gran cantidad de haces de filamentos dispuestos de forma longitudinal. Debido a su parecido con los conductores de luz, estos investigadores se refirieron a las células de Müller como «fibras de vidrio vivas». A cada cono de la retina le corresponde por término medio uno de esos cables, el cual capta la luz en el interior del ojo y la conduce a la parte exterior de la retina, fenómeno que aumenta el rendimiento de la señal de los fotorreceptores.

La última estación que franquean los datos sensoriales en su viaje desde el ojo hacia el cerebro son las células ganglionares. Estas reúnen y calculan, en su mayoría, las señales de los diferentes conos y bastones. Con todo, el hecho de que en la periferia de la retina existan alrededor de 126 millones de células sensibles a la luz no significa que nuestro ojo disponga de una resolución equiparable a la de una cámara fotográfica de 126 megapíxeles, pues solo contamos con cerca de un millón o millón y medio de células ganglionares. Ello supone que una media de 100 fotorreceptores comparten cada fibra del nervio óptico, cifra que corresponde a una resolución de poco menos de un megapíxel. Quizá dicha capacidad se estime pobre en comparación con una moderna cámara digital, mas la nitidez no depende en exclusiva de la cantidad de píxeles que contiene una imagen.

Cada célula ganglionar presenta un campo receptivo, en otras palabras, cubre una determinada zona de la retina. Según la cantidad de conos o bastones que envíen sus datos a dichas células, el campo receptivo será más o menos grande, pero siempre ovalado o circular. Se conocen tres tipos de células ganglionares: las células P, las células M y las células K.

Células para todos los casos

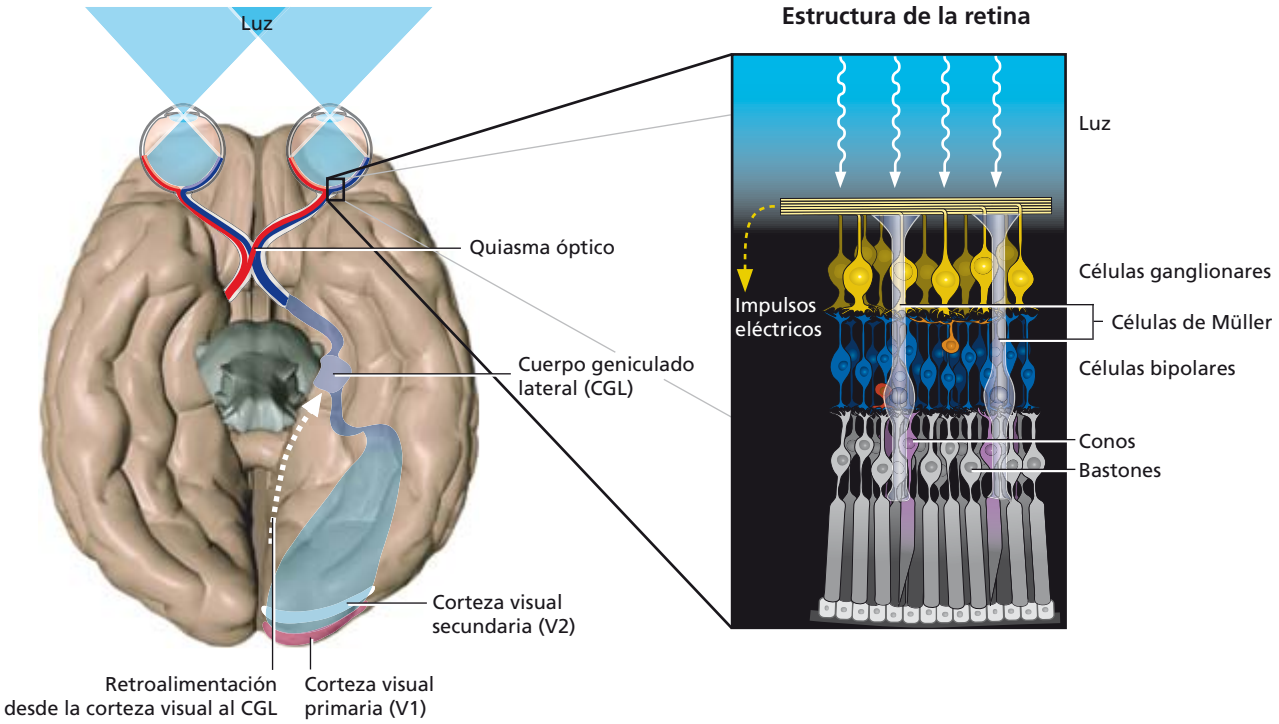
Esa sencilla división de las células ganglionares, explicación que aparece en la mayoría de los manuales de biología, resulta, sin embargo, incompleta. Estudios posteriores han demostrado la existencia de numerosos subtipos de tales células que cumplen funciones muy dispares. Hasta el momento se han descrito 17 subtipos, cada uno con campos receptivos que cubren una determinada porción de la retina.

Aparte de hallar tipos de células ganglionares hasta hace poco desconocidos, se siguen descubriendo nuevas funciones de los ya conocidos. En 2009, Botond Roska, del Instituto Friedrich-Miescher de Basilea, junto con sus colaboradores halló que un tipo, las células ganglionares

Imágenes mentales

Todavía se ignora el modo en que operan los centros superiores de procesamiento del sistema visual. Algo similar puede decirse de nuestra capacidad de crear imágenes mentales. A ese respecto, los investigadores han descubierto que alrededor del cinco por ciento de las personas no se encuentran en condiciones de hacerlo, es decir, no disponen de ningún tipo de imagen mental, o las que tienen son solo rudimentarias, por lo que les resulta imposible traer a su imaginación una escena o un rostro. Sin embargo, la mayoría de las veces ello no supone un obstáculo en su vida diaria. En 2009, este autor, junto con otros colaboradores de la Universidad de Bamberg y del King's College de Londres, estudió a personas con prosopagnosia hereditaria [*véase* «Prosopagnosia infantil»; MENTE Y CEREBRO, n.º 30, 2008]. Sorprendentemente, la mayoría de estos pacientes carecían de representaciones mentales de cualquier tipo. La capacidad de reconocer un rostro y la imaginación gráfica podrían radicar en procesos comunes.

(«Visual Mental Imaginery in Congenital Prosopagnosia», T. Grüter et al. en Neuroscience Letters, *vol. 453, págs. 135-140, 2009)*



VIAJE AL FINAL DE LA LUZ

Los rayos luminosos inciden en la retina, en la parte posterior del ojo. Las células de Müller los conducen a través de numerosas capas de células a los conos y bastones situados en el extremo posterior de la retina. Estos fotorreceptores transforman las ondas electromagnéticas en impulsos eléctricos, los cuales pasan por las células ganglionares hasta alcanzar el nervio óptico (*derecha*). Este termina en el cuerpo geniculado lateral, desde donde la información llega a la corteza visual (*izquierda*).

GEHRN & GEIST / MEGANIM

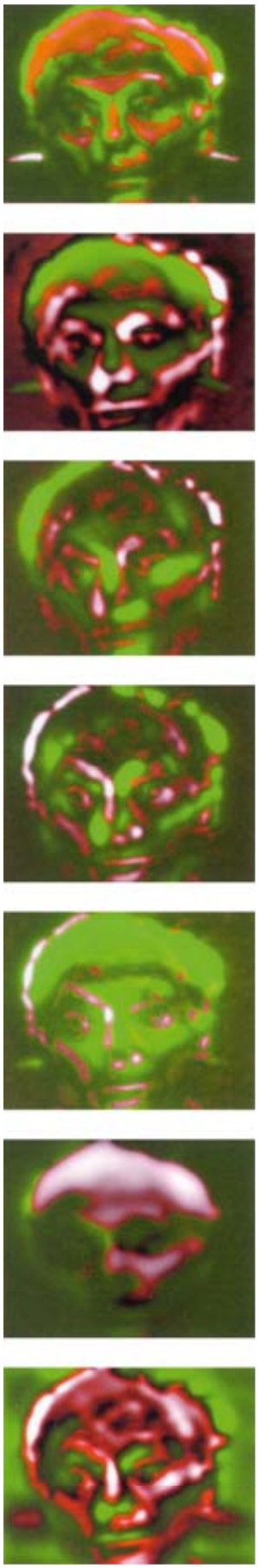
PV-5, respondía ante objetos que aumentaban de tamaño, pero no ante los que se movían manteniéndolo constante ni ante las figuras que empequeñecían. Según el equipo de Roska, tales células comunican al cerebro la existencia de un objeto o animal que se acerca con rapidez, de manera que ejercen una importante función de alarma.

Debido a que numerosos tipos de células ganglionares envían al cerebro su propia imagen del mundo, el nervio óptico transporta un mínimo de trece versiones paralelas del mismo escenario. Algo así como si una misma escena fuera grabada por trece cámaras, cada una de ellas con un filtro diferente. A partir del estudio de la retina del conejo, Frank Werblin, de la Universidad de California en Berkeley, logró establecer el patrón de respuesta que presentan ante la incidencia de la luz siete tipos de células ganglionares. Con esos datos diseñó un programa informático.

El resultado permite componerse una idea de las señales que cada tipo de células ganglionares envía al cerebro: uno extrae los contornos; otros, en cambio, reaccionan a las zonas oscuras o claras del campo visual. No obstante, los filtros de Werblin suponen un acercamiento aproximado al modo en que aparece el mundo en la retina. De hecho, cada una de esas imágenes guarda pocas similitudes con la percepción visual final.

La descomposición de la imagen retiniana en numerosos aspectos constituye uno de los trabajos más importantes que desarrolla el ojo. También en 2009, Jonathan Nassi, de la Escuela de Medicina de Harvard, reveló que dicho procesamiento paralelo masivo representa un principio general de la percepción visual de los primates, así como de otros sentidos.

Tampoco la coexistencia de instantáneas visuales finaliza en el centro visual primario de la corteza cerebral. Si bien allí se preparan las imágenes y se vuelven a organizar según diver-



CORTESÍA DE FRANK S. WERBLIN

UN RETRATO, SIETE FILTROS
Esta simulación por ordenador del neurólogo Frank Werblin ilustra las informaciones que envían respectivamente al cerebro siete tipos de células ganglionares de la retina.

sos aspectos, los centros visuales superiores del lóbulo occipital reciben de nuevo varias imágenes parciales. Ese procesamiento paralelo de las impresiones ópticas requiere un gran trabajo de cálculo. El simple hecho de contemplar una flor obliga al cerebro a trabajar sin descanso. De las cerca de 25.000 millones de neuronas de la corteza cerebral, al menos 5000 millones se hallan relacionadas de forma directa con la percepción visual. Asimismo, más de la mitad de las células nerviosas de la corteza participan de manera indirecta en la tarea.

Los axones de las células ganglionares se reúnen en el quiasma óptico, donde la mitad de las fibras cambian de dirección: los nervios que representan la parte izquierda del campo visual continúan hacia la parte derecha, y viceversa. Las prolongaciones celulares de la retina terminan en el tálamo, más en concreto, en el cuerpo geniculado lateral (CGL) del mesencéfalo. Dicha región cerebral es el punto de conmutación para los nervios de la retina. El 90 por ciento de las fibras terminan allí y solo una pequeña parte de estas alargan su trayecto, hasta, por ejemplo, la parte superior de la lámina cuadrigémina, donde se inician los reflejos provocados por la visión.

La censura del centro visual

El CGL se compone de varias capas, en las que finalizan determinados tipos de células ganglionares. Algunas de ellas se encargan del procesamiento de las formas; otras de los colores o de los movimientos. Empero el CGL no representa simplemente una estación de conmutación que transmite informaciones de la retina sin antes filtrarlas. Hoy en día se sabe que menos de la mitad de las fibras que llegan hasta el CGL proceden de la retina; de hecho, la mayor entrada viene de la corteza visual, responsable para el procesamiento posterior de los estímulos sensoriales. La corteza visual envía señales al tálamo en una especie de lazos de retroalimentación. Esta retroacción influye de forma continua en qué informaciones transmiten las neuronas del cuerpo geniculado lateral.

En 2009, Farran Briggs y Martin Usrey, ambos de la Universidad de California en Davis, midieron la velocidad con la que acontece esa retroalimentación en el cerebro de macacos rhesus vivos. Hallaron en la corteza visual primaria células que reciben señales del CGL, tras lo cual envían una respuesta inmediata. Un estímulo luminoso captado por los receptores de la retina tarda por término medio 50 milisegundos (la veinteava parte de un segundo) en pasar a través del cuerpo geniculado lateral a la corteza visual y regresar de nuevo a él.

Así pues, aquello que vemos de forma consciente nos aparece después de un complejo procesamiento de los datos del nervio óptico. En otras palabras, nuestra percepción del mundo corresponde a una construcción del cerebro. Los ojos solo nos proporcionan los datos primarios. El hecho de que percibamos una flor en formato tridimensional lo demuestra: la imagen contiene profundidad espacial, a pesar de que las impresiones sobre la retina carezcan de ella. Lo mismo sucede con las señales que llegan a la corteza visual primaria: alrededor del 90 por ciento de estas no procede de la retina, sino de otras regiones del cerebro.

La estación de conmutación en el CGL expone otro principio más de la elaboración visual: las fibras nerviosas mantienen un orden estricto durante el largo camino que va de la retina a la corteza visual. Esas fibras efectúan su recorrido siguiendo un mapa retinotópico, es decir, los puntos vecinos en la retina también se encuentran colindantes en el CGL, lo mismo en el centro visual primario V_1 que en el secundario V_2 de la corteza cerebral.

Con todo, la imagen puede estar completamente distorsionada. A partir de los estudios ya clásicos de Gordon Holmes (1876-1965), se sabe que la fóvea (punto de la visión aguda en la retina) ocupa un espacio desproporcionado de la corteza visual primaria. Expresado en cifras, supone solo un 0,01 por ciento de la superficie de la retina, pero ocupa entre un 8 y un 10 por ciento de la superficie de la corteza visual primaria.

Para elaborar mapas de la corteza visual, los científicos deben afrontar un arduo trabajo: investigar la función de distintas células nerviosas en diferentes secciones. Por otro lado, aunque el tejido cerebral muerto presenta un cierto orden, se requiere de animales vivos para determinar en qué punto de la retina se halla conectada una célula.

Con una micropipeta (una delgada sonda de cristal o de metal) punzan una única neurona.

Tres tipos de células ganglionares

Las células ganglionares de la retina constituyen el último paso del procesamiento dentro del ojo (*véase la figura de la página 71*). Sus largos axones se agrupan formando el nervio óptico, el cual transmite al cerebro las señales procedentes de la retina. A pesar de que los investigadores descubren cada vez más subtipos de células ganglionares, existen tres tipos fundamentales: las del sistema parvocelular (células P), las del sistema magnocelular (células M) y las coniocelulares (células K).

Las P constituyen el 80 por ciento del total de células ganglionares. Se activan ante determinados colores, poseen pequeños campos receptivos, responden con lentitud y necesitan mucha luminosidad. Que haya tantas de estas células en la retina humana se debe a una herencia evolutiva: los ojos de los primates parecen especializados en identificar pequeñas manchas de color bajo buenas condiciones de luminosidad. De hecho, nuestros antepasados vivían casi siempre en los árboles de bosques tropicales y se alimentaban de fruta, por lo que les resultaba de vital importancia reconocer a gran distancia los frutos maduros.

Las células M, por el contrario, son independientes de los colores y presentan campos receptivos más bien grandes. Reaccionan con rapidez incluso con poca luz. El tercer tipo, las K, resultan relativamente poco abundantes. Desde hace unos años se intenta entender su funcionamiento, aunque sin éxito: las células halladas hasta el momento no han mostrado una función homogénea.

Tras ello, los investigadores envían un estímulo luminoso a un ojo. En ese proceso deben confiar en que estimularán adecuadamente el punto exacto de la retina, de manera que provoquen la reacción de la célula nerviosa punzada, tarea que requiere de mucha paciencia y con la que no se obtienen siempre, ni mucho menos, resultados satisfactorios. A causa de que el sistema visual de los gatos, los ratones o los conejos no presentan la misma disposición celular que la corteza visual humana, los experimentos deben desarrollarse con macacos rhesus.

Con todo, desde el descubrimiento de la imagen por resonancia magnética funcional (TRMf), los ensayos resultan más sencillos. Aunque la resolución espacial que proporciona dicha tecnología es mucho menor que la que se obtiene mediante un examen con la micropipeta, ofrece de forma rápida un cuadro general de la situación de cada una de las áreas investigadas.

La visión del mundo en 17 canales

Mediante el uso de la TRMf se han descubierto en las últimas décadas más regiones cerebrales que reproducen de modo retinotópico la imagen completa de la retina. En 2007, Brian Wandell, de la Universidad Stanford, y Alyssa Brewer, de la Universidad de California en Irving, contabilizaron 17 de esas regiones en el cerebro. De todos esos mapas de campos visuales, los que más se conocen son la corteza visual primaria y secundaria.

La mayoría de los centros de procesamiento desempeñan tareas muy especializadas. En concreto, el lóbulo temporal medial se encarga de forma selectiva de la percepción del movimiento. Si una persona presenta dicha zona dañada, le parece que los objetos cambian de repente de posición. Así pues, el hecho de que la proyección en la retina se desplace de sitio de manera continua no produce por sí solo el efecto de un movimiento fluido; para que se origine dicha percepción, se requieren procesamientos posteriores.

Otra región del cerebro se encarga de mezclar los colores. Si falla en ambos lados, el entorno se sumerge en un triste gris. En cambio, el resto de las informaciones de los conos siguen procesándose sin que por ello se resientan ni la nitidez ni la percepción de las formas.

Cada nuevo conocimiento sobre el sistema visual confirma que lo que vemos es, ante todo, una construcción de nuestro cerebro. Dónde y cómo se procesan la gran cantidad de imágenes particulares que se generan desde la retina hasta las regiones especializadas de la corteza cerebral son cuestiones todavía por resolver. Es cierto que en las últimas décadas la ciencia ha avanzado en el conocimiento de los mecanismos de la visión, pero queda camino por recorrer.

Thomas Grüter es médico y periodista científico.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

MÜLLER CELLS ARE LIVING OPTICAL FIBERS IN THE VERTEBRATE RETINA. K. Franze et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, n.º 20, págs. 8287-8292, 2007.

APPROACH SENSIVITY IN THE RETINA PROCESSED BY A MULTIFUNCTIONAL NEURAL CIRCUIT. T. A. Münch et al. en *Nature Neuroscience*, vol. 12, n.º 10, págs. 1308-1316, 2009.

PARALLEL PROCESSING STRATEGIES OF THE PRIMATE VISUAL SYSTEM. J. J. Nassi y E. M. Callaway en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 10, págs. 360-372, 2009.

© FOTOLIA / OLGA RUMIANTSEVA

EL OJO DEL ESPECTADOR

El tamaño de las cosas

Cuando se alzan dos objetos del mismo peso, es posible que el cerebro esté haciendo halteras

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

El gran físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894) no solo descubrió la primera ley de la termodinámica (la conservación de la energía), sino que también inventó el oftalmoscopio y midió la velocidad de los impulsos nerviosos. Se le considera, además, fundador de la ciencia de la percepción visual humana. Helmholtz es, para nosotros, modelo y fuente de inspiración.

En nuestros artículos a menudo hemos subrayado que hasta el más sencillo acto de percepción entraña en el cerebro una interpretación activa, una «conjetura informada» sobre los sucesos del mundo, lo cual supone mucho más que la mera lectura de los datos sensoriales que recogen los receptores.

Para hacer hincapié en la naturaleza cuasi-cogitativa de la percepción, von Helmholtz la denominó «inferencia inconsciente». Las señales llegadas desde los sentidos (por ejemplo, las de una imagen proyectada sobre la retina) se interpretan apoyándose en su contexto y en la experiencia y conocimiento que el observador tenga del mundo. Helmholtz utilizó el calificativo «inconsciente» porque, a diferencia de muchos aspectos del pensamiento, para la percepción no se requiere la cogitación consciente. Navega con piloto automático.

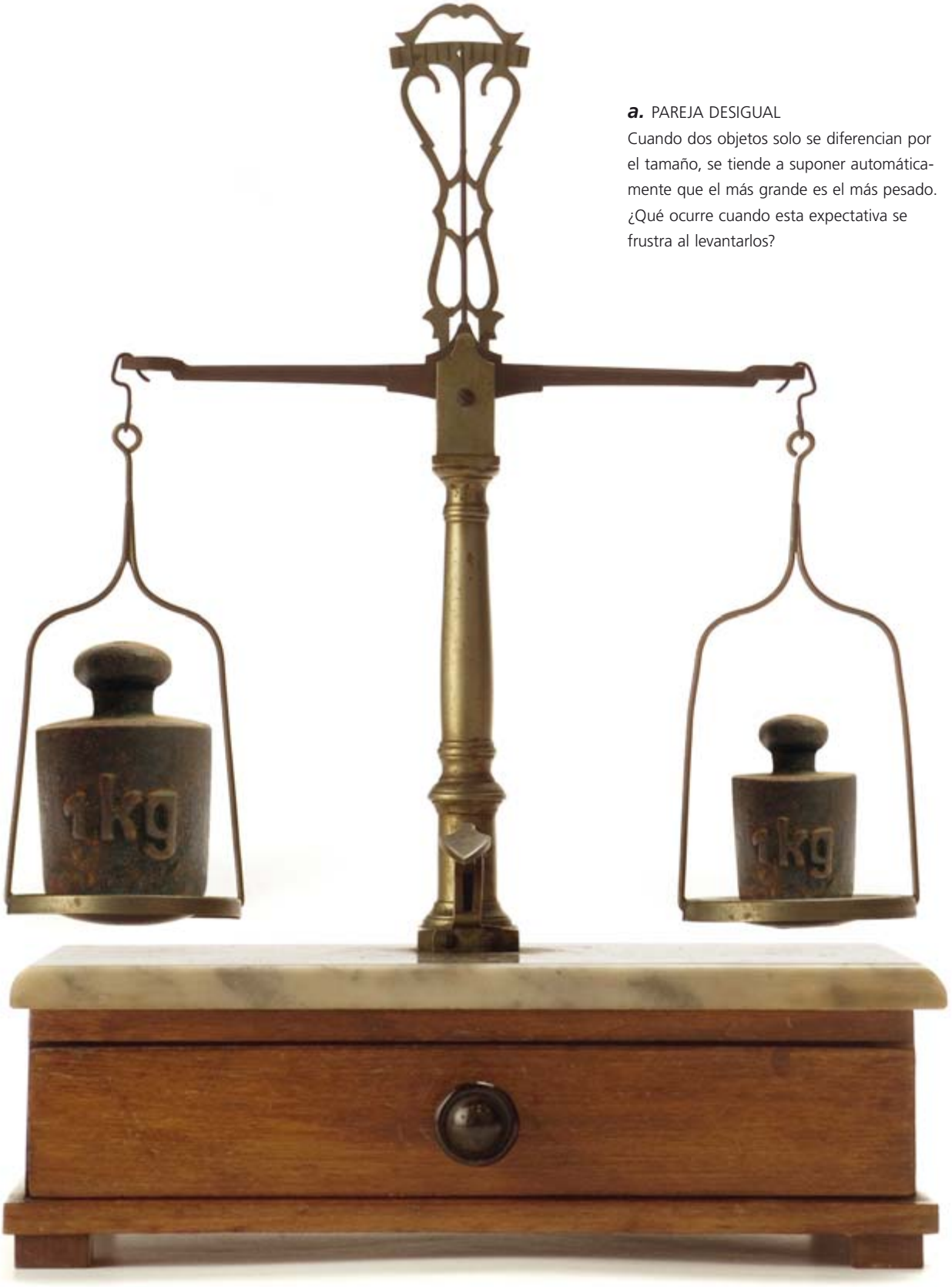
Sopesar las pruebas

Se tiene una robusta demostración del poder productivo de la percepción en la ilusión tamaño-peso, también conocida por ilusión de Charpentier-Koseleff (representación conceptual en *a*), fácil de construir y apta para desconcertar a los amigos. Este truco perceptivo fue uno de los preferidos por von Helmholtz. Pronto veremos por qué.

Para prepararla, tomemos dos objetos que tengan forma, textura y color muy semejantes, pero diferente tamaño, por ejemplo, cilindros huecos de metal o de plástico. Oculte dentro del menor de los dos el peso suficiente para que iguale al del grande. Como los dos recipientes ofrecen un aspecto similar, salvo en el tamaño, los presentes supondrán espontáneamente que el mayor de los dos es mucho más pesado que el otro. Ahora pídale a alguien que los alce y que compare sus pesos.

Seguramente le sorprenderá oír que los objetos no tienen físicamente el mismo peso. Por el contrario, le insistirán en que el objeto grande es mucho más liviano que el pequeño. Opinión que será mantenida, aunque usted explique que desea que se comparen sus pesos absolutos, no sus densidades (en la práctica, el peso de la unidad de volumen).

Compruébelo usted mismo. Aunque sabe que ambos objetos pesan lo mismo (¡los ha construido usted!), es muy probable que siga percibiendo que el objeto grande parece considerablemente más liviano que el pequeño. Al igual que en tantas otras ilusiones, el conocimiento de la realidad es insuficiente para corregir la percepción errónea o vencerla. A los neurocientíficos nos gusta decir que la percepción es inmune a la enmienda intelectual, que es «cognitivamente impenetrable».



a. PAREJA DESIGUAL
Cuando dos objetos solo se diferencian por el tamaño, se tiende a suponer automáticamente que el más grande es el más pesado. ¿Qué ocurre cuando esta expectativa se frustra al levantarlos?

© FOTOLIA / ANGELO (*balanza*); © FOTOLIA / UROS PETROVIC (*pesos*)

Una ilusión refractaria

Además, la información visual se impone sin cesar a la realimentación procedente de los músculos, que nos informa de que ambos pesos son físicamente idénticos. La ilusión no es solo refractaria al saber conceptual de «alto nivel» —que ambos objetos pesan lo mismo— sino que impide también elevar «desde las bases» señales procedentes de otras fuentes, como la realimentación procedente de receptores musculares, que declaran que su peso es el mismo. Repita, si quiere, este experimento muchas veces: aun así seguirá experimentando la ilusión.

¿A qué se debe este efecto? Cuando alargamos la mano hacia el objeto mayor, la *expectativa* es que pese más (pues los suponemos del mismo material) y por ello ejercemos una fuerza mayor para levantarlo. Pero como pesa lo mismo que el objeto menor (presuntamente, de menor peso), la impresión que nos produce es la de ser más liviano que el objeto pequeño.

Imagine, análogamente, que nos presentan a una persona que no parece de grandes luces y a quien, por ello, prejuzgamos de boba. Si ahora vemos que se expresa con normalidad, tendemos a creerla más lúcida que el promedio. Es como si se calibrase las facultades intelectuales de una persona por su mero aspecto y, en consecuencia, la valoración final de verdadera capacidad —basada en su forma de expresarse— resulta una sobreestimación.

Lo que enseña un truco visual

La ilusión tamaño-peso puede resultarnos más fácil de entender si la traducimos a una ilusión visual muy conocida, la ilusión de Ponzo, o de las vías de ferrocarril (*b*) [*véase* «Sutilezas de la constancia», en MENTE Y CEREBRO, n.º 26]. Se muestran dos trazos horizontales comprendidos entre dos rectas convergentes mucho más largas. Aunque los trazos son idénticos, al mirarlos no parecen tales: el superior parece más largo que el inferior. Cabe explicar esta ilusión mediante un efecto óptico llamado constancia dimensional: si dos objetos de idénticas dimensiones materiales se encuentran a diferente distancia del observador, se percibe correctamente que tienen el mismo tamaño, a pesar de que las imágenes que proyectan sobre la retina lo tienen distinto. Muy sencillo. El cerebro «entiende» que existe un toma y daca entre el tamaño de la imagen retiniana y la distancia hasta el objeto, y se dice a sí mismo: «La imagen de ese objeto es pequeña porque se encuentra lejos; su tamaño real debe de ser mucho más grande».

El sistema visual, para evaluar la distancia, se vale de diversas fuentes de información que le facilitan las claves para interpretarla correctamente, entre ellas, la perspectiva, la paralaje de movimiento, los gradientes de textura y la estereopsis. A continuación, para determinar el verdadero tamaño, aplica a la distancia las correcciones correspondientes.

Pero en el caso de la ilusión de Ponzo, las imágenes que las dos barras horizontales proyectan sobre la retina son de la misma longitud. Las líneas convergentes proporcionan una poderosa razón para juzgarlas —erróneamente en este caso— a distancias diferentes (como si estuviéramos mirando las traviesas de una vía de ferrocarril, que están cada vez a mayor distancia). Dado que nuestro sistema visual «cree» que el trazo horizontal superior se halla más lejano, infiere que ese trazo ha de ser en realidad más largo (con respecto al otro) de lo que indica su

© ISTOCKPHOTO / STEVEN VAN SOLDT

imagen en la retina. En consecuencia, es percibido como más largo.

Dicho con otras palabras: la constancia dimensional de escala nos permite percibir de forma exacta el tamaño de los objetos cuando es correctamente percibida la distancia a los mismos. Sin embargo, en la ilusión de Ponzo, la engañosa indicación de distancia debida a las rectas convergentes nos hace aplicar erróneamente el algoritmo de constancia dimensional, con el resultado de que el trazo superior se ve más largo.

De manera notable, la ilusión se impone a las señales visuales procedentes de la retina, que informan a los centros visuales de evaluación de distancias que posee el cerebro de que las dos barras tienen exactamente la misma longitud. Y dado que todos estos mecanismos navegan «con piloto automático», el conocimiento de que su tamaño es el mismo no corrige la ilusión.

Expectativas cerebrales

Algo parecido sucede en el caso del tamaño y el peso. (Donde dice «peso real indicado por los músculos», léase «tamaño

GEHIRN & GEIST

GEHIRN & GEIST, SEGÚN TONY PHILLIPS, NASA

b. JUEGO CON LA PERSPECTIVA
La ilusión óptica de Ponzo (*a la izquierda*) recuerda a unos raíles de tren que se alejan del observador (*a la derecha*). Las líneas convergentes hacen pensar que la franja horizontal de arriba está más lejos y, por lo tanto, es mayor.

© ISTOCKPHOTO / STEVE O'CONNOR

c. COMPARACIÓN CORRECTA
Con un disco y un anillo del mismo diámetro y peso no se produce el efecto ilusorio: la impresión que se tiene es que ambos pesan, en efecto, lo mismo.

verdadero de la imagen retiniana».) Nuestro cerebro dice: «En el caso del objeto grande, espero que la tensión muscular ha de ser mucho mayor para poder sostenerlo». Pero como la tensión muscular necesaria ha resultado ser mucho menor de lo esperado, se tiene del objeto la percepción de que es excepcionalmente liviano. Esta experiencia se impone al enjuiciamiento «racional» del peso verdadero, del que informan las señales musculares.

Recuerde que hemos dicho que el sistema de evaluación tamaño-peso funciona «en automático». Podemos preguntarnos, entonces, si tal sistema es en sí mismo bobo o inteligente, y cuánto. ¿Y si lo utilizásemos para verificar objetos como un disco y un aro del mismo diámetro exterior (*c*), y, como en el caso de la ilusión tamaño-peso típica, los ajustamos de modo que sus pesos reales sean idénticos?

Desde luego, lo mismo que antes, quien tome el anillo confiará en que su peso será mucho menor, porque parece tener menor volumen total. Pero nosotros, los experimentadores, conscientes de la paradoja peso-tamaño, sabemos que no es así, y pronosticaríamos lo contrario, que se tendrá la convicción de que el anillo es mucho más pesado que el disco macizo. En realidad, y en colaboración con Edward M. Hubbard, del INSERM francés, hemos observado que el sujeto *no* experimenta la ilusión tamaño-peso, sino que juzga correctamente que ambos objetos pesan lo mismo. Parece que el cerebro solo toma en consideración el diámetro *exterior* para formar su juicio, y no el volumen total. Este experimento parece demostrar que el sistema visual no es suficientemente perfecto, que no llega a comprender que lo importante es la masa total y no solamente el diámetro exterior.

El cerebro, además del tamaño, tiene en cuenta otros aspectos para calibrar el peso esperado. Por ejemplo, si asimos una jarra de cerveza de plástico, nos parecerá inusitadamente liviana. Este efecto, lo mismo que antes, se produce porque esperamos que la jarra sea de vidrio o de porcelana y mucho más pesada. Es posible que la ilusión tamaño-peso, en su versión original, esté grabada en *firmware* (no lo sabemos), pero no cabe duda de que la ilusión con la jarra de cerveza es aprendida. Nuestros ancestros homínidos no conocieron las jarras.

¿Es mera sensación o es real?

¿Qué otras lecciones se pueden extraer de esta ilusión? Tal vez encuentre alguna aplicación práctica. Nuestra casa (que es muy alta) tiene muchas escaleras, y es de suponer que nos cansaremos antes, y más, subiendo y bajando escaleras con cargas pesadas que con cargas ligeras. El esfuerzo físico aumenta cuando se llevan pesos más grandes; el corazón late más rápidamente, aumenta la presión arterial y se suda. Se supone, normalmente, que este esfuerzo extra se debe a que los músculos consumen más glucosa, información que se le suministra al cerebro para que genere una respuesta adaptativa: mayor ritmo cardíaco, presión arterial más elevada y sudoración, y que prevea el incremento en consumo de oxígeno correspondiente al duro trabajo.

Ahora bien, ¿no sería concebible que en parte de esta preparación interviniera también el peso que *se siente* del objeto, que está enviando directamente señales al cerebro? Imagínese corriendo escaleras arriba y abajo con un objeto grande, y compare después el grado de fatiga que siente con el que le produciría hacerlo con un objeto mucho más pequeño, pero cuyo peso real fuese el mismo que el del grande (que, por efecto de la ilusión, *se siente* más pesado). ¿Aumenta nuestra sensación de agotamiento o de fatiga este peso *sentido* adicional, que no es el real? Con otras palabras, ¿está determinada la fatiga por el agotamiento físico real? ¿Llegará este trabajo imaginado a acelerar realmente el ritmo cardíaco, a elevar la presión arterial o a provocar la sudoración?

En tal caso, parece que bastaría con presentir un exceso de esfuerzo para que el cerebro enviase más señales al corazón y así elevara la presión arterial, el ritmo cardíaco y la oxigenación de los tejidos. Ha habido informes esporádicos en el sentido de que la repetida imaginación de que se hace ejercicio puede aumentar el vigor muscular, sin embargo, las pruebas resultan muy escasas. (Los autores han empezado a explorar este problema en colaboración con el neurocientífico Paul McGeoch, de la Universidad de California en San Diego.)

Si resultase que el peso sentido contribuye a determinar la sensación de fatiga, convendría que la próxima maleta que usted se compre fuese de gran tamaño: le parecerá más liviana ¡incluso aunque meta en ella exactamente la misma cantidad de material! Las peculiaridades de la percepción tienen profundas implicaciones teóricas... pero también consecuencias prácticas.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 38

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

THE SIZE-WEIGHT ILLUSION, EMULATION, AND THE CEREBELLUM. Edward M. Hubbard y Vilayanur S. Ramachandran en *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 27, págs. 407-408, 2004.

Apariciones fantasmagóricas

¿Desea ver un fantasma? Las imágenes persistentes ofrecen las circunstancias propicias para experimentar percepciones extrasensoriales

RAINER ROSENZWEIG

Imagínese el lector que un fotógrafo se le aproxima hasta encontrarse literalmente pegado a su lado; con el flash puesto, acciona la cámara de fotografiar. Preso por la sorpresa, no puede evitar dirigir la mirada directamente al destello lumínico, reacción que le ciega por unos momentos. ¿Qué experimentará a continuación? Durante un tiempo el lector verá una mancha blanca y rectangular ante sus ojos, como el chispazo de luz que ha producido el dispositivo fotográfico. Si luego mira una pared blanca, la marca visual del flash se tornará en una suerte de sombra negra de mayor tamaño que la luz causante de la ilusión visual.

Dicha imagen persistente perdura durante unos instantes, siempre a expensas de la mirada. Ello produce dos efectos, uno negativo, otro positivo. La variante positiva es que seguimos percibiendo el flash como mancha blanca. La versión negativa genera lo contrario: cualquier parte del campo visual que fue alumbrada por la luz del flash se oscurece cuando el fondo visualizado es claro.

¿Cómo se forman esas apariciones? La luz excita las células sensoriales en la retina, conos y bastones. La continuidad de su actividad por un breve período de tiempo origina la imagen persistente positiva, aunque la exposición al estímulo luminoso haya finalizado. Es decir, esas imágenes residuales positivas permiten visualizar durante un tiempo la imagen observada, por lo que evitan que percibamos las pausas de oscuridad que se producen en el cine entre fotograma y fotograma.

Si se consume la totalidad del pigmento visual de una célula nerviosa al procesar el estímulo del flash, esta ya no puede trabajar más, por lo que las enzimas deben producir de nuevo los pigmentos descompuestos. Para ello, los conos necesitan algunos minutos; los bastones requieren hasta una hora para recuperarse. La reducida sensibilidad del entorno estimulado de la retina produce una sombra negra cuando se observa un fondo brillante, es decir, la imagen persistente negativa.

Para generar tales ilusiones no es siempre necesario disponer de una luz relampagueante. Observe durante 30 segundos la figura *a*, fije su mirada en el pequeño punto del centro. A continuación diríjala a una pared blanca. ¿Qué ve? En caso de que la imagen que percibe se desvanezca, parpadee brevemente. De nuevo quedará fijada. Tranquilo, no se trata de una experiencia espiritual, el fenómeno tiene una explicación más sencilla: el patrón de manchas abstracto que le ha parecido ver no es más que la proyección negativa esquematizada de un rostro con barba. La imagen persistente de ese negativo aporta las sombras y contornos necesarios para reconocer la imagen de una representación de Jesucristo.

MONICA LUBIG

a. EXPERIENCIA RELIGIOSA
Fije su mirada durante 30 segundos en el centro de la imagen. A continuación, observe una pared blanca. ¿Experimenta una vivencia religiosa? Si la imagen persistente se desvanece muy rápido, pruebe a parpadear para reforzarla.

El cerebro busca una explicación

El hecho de que nos parezca reconocer una cara es consecuencia de la operativa habitual de funcionamiento de nuestra percepción. El cerebro busca permanentemente patrones racionales. En este caso en particular se produce un efecto investigado por vez primera por el equipo del psicólogo Claus-Christian Carbon, de la Universidad de Bamberg, en 2010. Aparentemente tenemos tendencia a asociar los rostros provistos de barba con la imagen del hijo de Dios, un proceso psicológico inofensivo de raíces espirituales.

b. RETRATO CON MONOS

Los psicólogos Robert Jenkins y Richard Wiseman idearon en 2009 un retrato muy especial de Charles Darwin para conmemorar los 200 años de su nacimiento. La imagen persistente que conforman estos dos primates se asemeja al perfil del creador de la teoría de la evolución. El efecto se basa en que en las imágenes persistentes (impresión visual que queda en la retina tras eliminar el estímulo inicial) solo se reconocen las grandes formas y estructuras; los detalles del original se desvanecen.

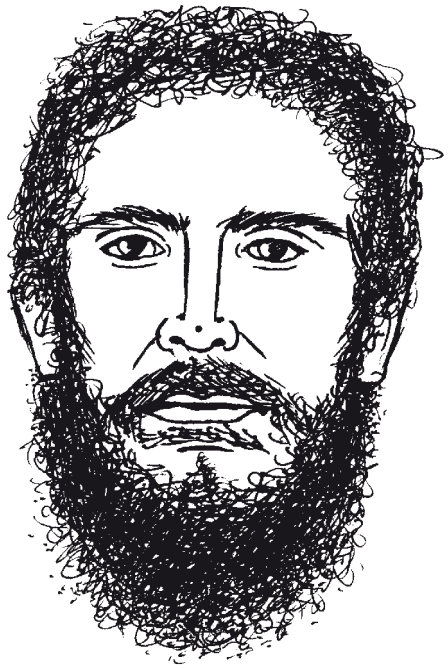
CORTESÍA DE ROBERT JENKINS, DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE GLASGOW

Interruptor ocular

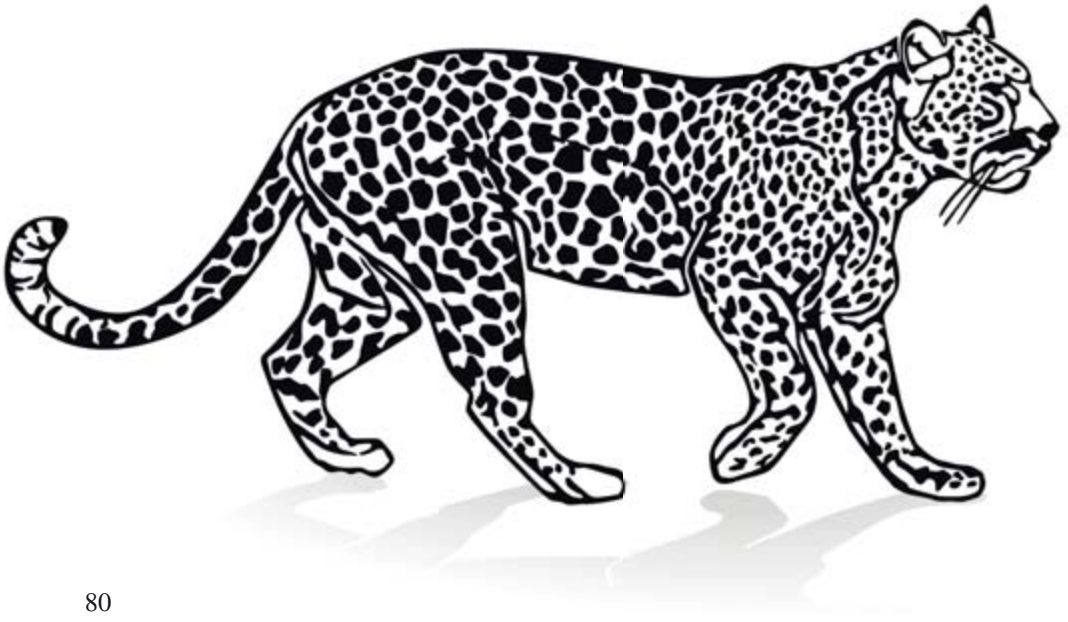
El ojo humano dispone de dos tipos de células nerviosas. Por un lado, los bastones, los cuales se hallan en su mayoría en la periferia de la retina y solo registran variaciones de claridad y oscuridad. Por otro, los conos, ubicados en el área de la visión aguda y responsables del mundo de color. Estos últimos ofrecen a su vez tres variantes, cada una de ellas dotada de una sensibilidad especial para los colores rojo, verde y azul, respectivamente. Cada célula visual contiene un colorante fotosensible: la púrpura retiniana o rodopsina (en los conos también denominada iodopsina), que absorbe la luz incidente y la descompone. En este proceso, la célula genera una señal eléctrica que, tras algunos saltos, se transmite a través del nervio óptico al cerebro.

Otro experimento con aire sobrenatural. En la figura *c* puede verse el dibujo de un hombre con barba negra y cabello oscuro. Si observa su nariz de manera prolongada se dará cuenta de que, poco a poco, se forma una aureola alrededor de su cabeza. El motivo es que nuestros ojos no se centran fijamente en un punto, sino que van de aquí para allá de forma involuntaria. Como consecuencia, la imagen persistente de la cabeza aparece mayor que su proyección sobre la retina. Los predicadores de cabello oscuro pueden ofrecer una imagen celestial sin prácticamente hacer nada especial para conseguirlo. Por tanto, no tiene nada de maravilloso que esas imágenes persistentes sean la explicación más probable de historias sobre apariciones fantasmagóricas, platillos voladores o rayos esféricos flotantes.

En el curioso mono de la figura *b* se halla un mensaje oculto. Su imagen persistente se asemeja a un retrato de Charles Darwin. ¿Cómo puede ser? Las imágenes persistentes suelen aparecer difusas, con cantos poco precisos y grandes superficies, lo que físicamente corresponde a bajas frecuencias espaciales. Por el contrario, las líneas precisas, finas y los detalles, es decir, las altas frecuencias espaciales pueden reconocerse solo si se observan desde muy cerca [*véase* «Ilusiones ópticas y creación artística», por V. S. Ramachandran y Diane Rogers-Ramachandran; MENTE Y CEREBRO n.º 24, 2007]. El retrato del natu-



c. RESPLANDOR MÍSTICO
Si observa fijamente y con paciencia la nariz del rostro barbudo durante un rato, llegará el momento en que la cabeza del personaje parecerá rodeada de una aureola.



d. MÁS GRANDE DESDE LA DISTANCIA
Dirija su mirada durante unos 30 segundos al centro de la ilustración. A continuación, observe la imagen persistente primero en la palma de su mano. Luego en una pared blanca situada algo más lejos de usted. El gatito que sostenía en la mano se transforma de golpe en un temible felino.

MONICA LUBIG (*cara*); © DREAMSTIME / NORBERT BUCHHOLZ (*jaguar*)

e. COLORES EQUIVOCADOS
Los nombres de los colores están impresos en un tono diferente al que le correspondería según su significado. No obstante, si se queda mirando fijamente el punto negro y justo después dirige su mirada a una superficie blanca, de repente contenido y aspecto coinciden: las letras aparecen teñidas con el color complementario. De nuevo, debe parpadear para refrescar la imagen persistente, de lo contrario desaparecerá en pocos segundos.

ralista se encuentra oculto hábilmente en las bajas frecuencias del negativo, por ello solo sale a la luz como imagen persistente.

Gracias a las imágenes de marras también pueden seguirse los movimientos propios de los ojos al leer. Observe con detenimiento una zona situada un poco por debajo de un punto de luz (una pequeña bombilla o un agujero en un cartón que pueda orientar contra una fuente de luz). Si continúa leyendo este texto después de haber realizado la acción anterior, observará la imagen persistente del punto luminoso por encima de las letras a las que esté dirigiendo la mirada en ese momento. Ese truco pone de relieve que cuando leemos no vamos a la misma velocidad durante toda una línea; realizamos entre tres y cuatro saltos con la vista por cada línea.

Para la siguiente sorprendente observación es necesario que se siente de tal manera que dentro de su campo visual observe en la lejanía una superficie clara, pongamos por caso una pared blanca situada al otro extremo de la habitación donde se encuentra o bien la pared de una casa o edificio que pueda observar con claridad desde su ventana o terraza. Después, dirija su mirada a la imagen del felino (*figura d*); obsérvelo durante 30 segundos a una distancia aproximada de 30 centímetros. Inmediatamente después, mire la imagen persistente sobre su mano, tras ello, sobre una pared lejana. El lindo gatito reflejado en la mano se habrá convertido en un enorme jaguar.

Crecimiento imaginario

¿Acaso la imagen persistente cambia de tamaño cuando la observamos desde la lejanía? De ninguna manera. Lo determinante en este caso es la constante de tamaño de nuestra percepción a contraluz. El oftalmólogo suizo Emil Emmert (1844-1911) ya analizó dicho fenómeno en 1881 y formuló sus resultados dando lugar a una ley homónima. Dicha ley postula que el tamaño percibido de una imagen persistente es directamente proporcional a la distancia del fondo. El motivo que subyace es que la imagen persistente se forma en la retina sobre una superficie fija y, por tanto, se mantiene siempre igual de grande con independencia de la distancia del fondo. El cerebro relaciona de modo directo el objeto con forma de sombra percibido como parte evidente de su entorno. En nuestra mano, situada tan cerca, el gato aparece pequeño mientras que sobre la pared de la casa de enfrente prácticamente ocupa toda la superficie, por lo que resulta incluso gigantesco.

Dentro de los fenómenos de percepción más interesantes figuran las imágenes persistentes de colores. Observe durante unos segundos alguno de los puntos negros situados en medio de las palabras colocadas arriba (*e*). Si mira inmediatamente después una pared blanca se genera una imagen persistente en la que, de repente, coinciden palabra y color. Como el pigmento visual asociado a un color determinado se ha consumido, la imagen persistente aparece teñida con el color complementario como resultado de la fusión de todos los tonos restantes del conjunto del espectro. No obstante, los conos regeneran sus pigmentos a un ritmo superior que los bastones, por ese motivo esas imágenes se desvanecen apenas transcurridos unos segundos. Pero recuerde que parpadeando puede conseguir que el efecto se prolongue algo más de tiempo.

Las imágenes persistentes pertenecen a los fenómenos entópticos. Se trata de apariciones visuales subjetivas inherentes al sistema de visión humano. De todas formas, nosotros, como observadores, las proyectamos hacia fuera como si realmente proviniesen del exterior. En este caso, todos los seres humanos reaccionamos igual: consideramos lo que percibimos de forma errónea como cierto, incluso cuando se trata solo de un artificio de nuestro disco duro neuronal.

Rainer Rosenzweig, *doctor en psicología de la percepción, dirige del museo experimental Turm der Sinne («Torre de los sentidos»), en Núremberg.*

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 55

Neurología de la belleza

¿Por qué, por lo general, nos parece un delicado dibujo de un desnudo más atractivo que la fotografía de un desnudo, más realista? Porque nuestro sentido de lo estético sigue leyes biológicas

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

¿Qué es arte? La pregunta recibe tantas respuestas como artistas y críticos se pronuncien. En general, podemos afirmar que el arte brinda a las personas una posibilidad de ocuparse de la belleza y la estética. Por eso, las reacciones varían mucho de un sujeto a otro. Hay así quien pasa ligero ante un cuadro de Pablo Picasso, que a otros extasía y lo erigen en prototipo de lo bello y de la fuerza expresiva. Con frecuencia, salen también a la luz diferencias culturales: el olor acre de la marmite —una pasta vegetariana de extracto de levadura— les encanta a los ingleses, pero les produce repugnancia a la mayoría de los norteamericanos.

Debido a la multitud de preferencias y corrientes estilísticas parece dudoso, a primera vista, que puedan darse principios estéticos universales, comunes para todos. A pesar de todo, el hombre parece poseer una gramática artística innata, similar a los universales sintácticos de la lengua postulados hace medio siglo por Noam Chomsky, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Más aún, posiblemente las leyes humanas de la estética valgan también para el reino animal.

Al fin y al cabo, los hombres encontramos atractivos los pájaros y las mariposas, aunque estos solo hayan adquirido su forma externa para gustar a otros pájaros o a otras mariposas. Los capulineros machos construyen extraños y elegantes lugares de celo, que probablemente les gustarían a los críticos de arte más obstinados de Manhattan, al menos si se vendiesen en Sotheby y nadie supiese que en realidad han sido ideados por el cerebro de un pájaro.

En 1994 elaboramos una lista de leyes de la estética, de las cuales proponemos aquí las seis más importantes.

1) La ley de la *agrupación*, ilustrada en la figura *a*. Nuestro sistema visual debe, al principio, esforzarse mucho para unir los fragmentos aparentemente inconexos en un objeto determinado, en este caso un perro dálmata. Pero si lo consigue, es gratificado con una experiencia satisfactoria de «ajá». Esta agradable experiencia podría originarse por medio de señales en los centros de placer del sistema límbico. Su mensaje dictaría algo así como: «Aquí hay algo importante. ¡Atención!», lo que sería una suerte de condición mínima para experimentar la belleza estética.

© FOTOLIA / ARTHUR BAUMANN

a. MANCHE OTRA VEZ

Tan pronto como se reconoce en las manchas carentes de estructura un dálmata, los centros cerebrales de placer activan la experiencia «ajá».

b. A LA IZQUIERDA COMO A LA DERECHA
El sepulcro indio del Taj Mahal, del siglo XVIII, constituye un ejemplo clásico del efecto estético de la simetría en el arte.

© ISTOCKPHOTO / DAVID MORGAN

La facultad de agrupación nos capacita para localizar objetos incluso en entornos confusos. Imagínese un tigre escondido en un follaje verde (*d*). Aunque percibe en realidad fragmentos amarillentos de tigre, su cerebro acepta que estas piezas van más allá de la mera apariencia aleatoria y reconstruye el objeto original, que llama su atención.

2) Seguramente también la evolución estuvo implicada en que desarrollemos una afinidad especial por la *simetría*. En la naturaleza, la mayoría de los objetos importantes para nuestra supervivencia (presa, depredador o pareja sexual) son simétricos. Merece la pena gozar de un sistema de alerta precoz que advierta la simetría y emita rápidamente la reacción apropiada. En las parejas sexuales potenciales, la asimetría indica además problemas de salud. Podrían ser portadores de malas disposiciones hereditarias o haber sufrido de parásitos durante su desarrollo temprano.

La atracción de la simetría es universal. Se muestra en el niño que juega con un caleidoscopio, del mismo modo que en el Taj Mahal (*b*), que el gran mogol indio Shah Jahan (1592-1666) hizo erigir en memoria de su esposa Mumtaz.

3) Una ley menos conocida es la del *estímulo supernormal*. El investigador del comportamiento Nikolaas Tinbergen (1907-1988), de la Universidad de Oxford, observó ese fenómeno ya hace más de 50 años, en el curso de sus trabajos sobre crías de gaviota recién eclosionadas. Los polluelos piden comida con insistencia hasta que golpean el pico de su madre, que es marrón con una mancha roja. Pero un polluelo golpearía también de modo incansable un pico aislado. Semejante comportamiento instintivo se ha producido en el curso de la evolución, a lo largo de millones de años, durante los cuales se ha grabado en el cerebro de los polluelos que una cosa larga con un punto rojo en ella significa madre y alimento. Los investigadores del comportamiento hablan de un estímulo clave.

Podemos provocar tal comportamiento suplicante incluso sin pico alguno, descubriría Tinbergen. Basta con un palo con un punto rojo. Las neuronas ópticas del cerebro de los polluelos no son muy exigentes en cuanto a los requisitos exactos del estímulo clave. Tinbergen descubrió algo más: cuando el polluelo veía un pedazo de cartón largo y delgado con tres líneas rojas al final, saltaba de entusiasmo, y prefería la cartulina al pico auténtico. Así se encontró Tinbergen con el fenómeno del estímulo supernormal.

Los investigadores no saben exactamente hasta el día de hoy por qué se da este efecto. Probablemente guarda relación con la manera en que las neuronas responsables de la visión elaboran la información aferente. La forma en la que están interconectadas las células podría conducir a que reaccionen con más fuerza a un patrón extraordinario y envíen así al sistema límbico una señal «ajá» intensa.

Galería de arte para polluelos de gaviota

¿Qué tiene que ver tal superpico con el arte? Si los polluelos de gaviota tuviesen una galería de arte, colgarían en la pared un palo largo con rayas rojas, lo admirarían y sacrificarían mucho por el privilegio de poseer uno. Las personas se comportan de la misma manera con el arte: los coleccionistas apasionados pagan sin vacilar miles y miles por un cuadro, sin poder explicar realmente por qué lo encuentran tan atractivo. A lo largo de los siglos, los artistas han descubierto, por el método de ensayo y error, nuevos caminos para aprovechar las particularidades de la «gramática de la percepción del cerebro». Cada vez salía a la luz un equivalente para el palo rayado del polluelo de gaviota.

4) Similar al estímulo supernormal es el fenómeno del «desplazamiento del pico» (*peak-shift*). Desempeña un papel en los retratos y, sobre todo, en las caricaturas. Estas refuerzan los rasgos que diferencian un rostro determinado de un rostro común y los resalta de modo evidente. Hay una base neuronal en ese mecanismo. De acuerdo con Doris Tsao, de la Universidad Harvard, determinadas neuronas de los monos, que reaccionan selectivamente a los rostros individuales de otros monos, se excitan ante una caricatura de ese rostro con intensidad mayor que ante el original.

5) La ley del *aislamiento* explica por qué el dibujo esbozado de un desnudo habitualmente nos atrae más que una foto en color y en tres dimensiones de una persona desnuda (*c*). En ella subyace un amplio mecanismo neurobiológico; un cuello de botella de nuestro encéfalo: la capacidad de atención de nuestro cerebro es limitada, porque en un momento dado solo puede existir un solo modelo de la actividad neuronal. Por eso, la atención se polariza directamente siempre hacia la información que parece más importante. Intervienen otros factores, no menos sig-

© ISTOCKPHOTO / JOANNE WELCH

c. EL ARTE DE LA INSINUACIÓN
Un boceto de un desnudo habitualmente atrae más que la fotografía en color de una persona desnuda, porque nuestra atención puede rastrear de manera tranquila la forma estética del cuerpo.

nificativos, que se reparten la atención; cada elemento solo resalta de manera atenuada. En un dibujo hábilmente ejecutado, el sistema visual no será monopolizado por informaciones subordinadas, como el color, la sombra, la estructura; por eso puede dirigir toda la atención a lo esencial, en este caso, al contorno del cuerpo humano.

Las observaciones sobre determinados casos de autismo, los *savants*, apoyan nuestra tesis. Nadia mostraba su destreza infantil con unos dibujos asombrosamente perfectos. A pesar de su reducida capacidad de rendimiento intelectual, al menos una parte de su lóbulo parietal estaba bien dispuesta; aquí se asienta el sentido para las proporciones artísticas correctas. Nadia podía, pues, concentrar toda su atención en este «módulo artístico». Cuando, con los años, fue refinando paulatinamente sus habilidades sociales, desaparecieron sus talentos artísticos; la atención hubo de repartirse por diferentes territorios, como es también el caso de los no *savants*.

Bruce Miller, de la Universidad de California en San Francisco, descubrió que los pacientes adultos con demencia frontotemporal desarrollaban a veces de modo súbito facultades artísticas. Puesto que en estas personas degeneraban los lóbulos frontal y temporal, podrían gozar también aquí de una atención cada vez menos dividida en los aspectos elaborados por el lóbulo parietal.

6) Al igual que el aislamiento, la *solución del problema de la percepción* (*Peekaboo*) tiene un efecto. Retomemos el ejemplo del desnudo: una persona sin ropa, de la cual se ven solo los brazos o los hombros asomando detrás de una cortina o que se oculta envuelta en un paño transparente, agrada más a nuestro sentido para lo estético que si estuviese completamente desnuda. En general, alegra más a nuestro cerebro descubrir objetos ocultos y clasificarlos correctamente (*d*). El filósofo indio Abhinavagupta describió el efecto ya en el siglo X d.C. En nuestros días, Ernst Gombrich (1909-2001), historiador del arte británico-austriaco, se ocupó de su redescubrimiento.

Además, la propia búsqueda nos produce alegría, no solo el descubrimiento. Cada mirada que se echa a un objeto parcialmente escondido inicia un programa de búsqueda en el cerebro que por una parte provoca ya ella misma una pequeña experiencia de «ajá» y por otra influye sobre un bucle de retroalimentación de los estadios previos del procesamiento visual. Eso impulsa una búsqueda ulterior hasta que finalmente acontece el «ajá» final de la revelación. De modo análogo, los artistas y los diseñadores de moda intentan enriquecer sus obras con pequeños trucos perceptivos —ambigüedad, omisión, paradoja— para recompensar al observador, si es posible, con muchos «miniajás».

Desde los polluelos de gaviota hasta Monet hay un largo camino. Por suerte, los investigadores pueden moverse también, en su viaje de exploración por el procesamiento visual de lo estético en el cerebro, de un «miniajá» a otro «miniajá», con el objetivo de la gran experiencia del «ajá» constantemente a la vista.

d. BUSCAR PROVOCA ALEGRÍA
Nuestro cerebro muestra un espíritu deportivo, que se ejercita al descubrir y ordenar objetos medio ocultos.

CORBIS

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 37

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

EINE KURZE REISE DURCH GEIST UND GEHIRN. V. S. Ramachandran. Rowohlt, Reinbek, 2005.

NEUROARTHISTORY: FROM ARISTOTLE AND PLINY TO BAXANDALL AND ZEKI. J. Onians. Yale University Press, New Haven, 2008.

Ilusiones ópticas y creación artística

¿Qué tienen en común la Mona Lisa y el presidente Lincoln?

VILANAYUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

En las obras de El Greco, personajes y objetos aparecen representados con formas alargadas. Algunos historiadores han sugerido que El Greco podría haber sido astigmático, es decir, que la curvatura de las córneas o de los cristalinos de sus ojos podría haber sido más acusada en sentido horizontal que en el vertical, con el efecto de que la imagen proyectada sobre la retina, en el fondo del ojo, sería desproporcionadamente más alta que ancha.

Una idea absurda. Si fuera cierta, todos estaríamos dibujando el mundo cabeza abajo, porque la imagen retiniana está invertida con respecto a la original. (El cristalino invierte la imagen que le llega, y el cerebro interpreta la imagen como si el lado derecho estuviera arriba.) La falacia nace del erróneo razonamiento de que nosotros vemos literalmente una imagen de la retina, como si estuviéramos barriéndola con un «ojo interior».

No existe ningún ojo interior. Nuestra atención debe dirigirse hacia mecanismos visuales que extraen información en paralelo a la imagen y la procesan etapa tras etapa, antes que su actividad culmine en experiencia perceptiva. Nos serviremos de algunas ilusiones llamativas que ayuden a iluminar el funcionamiento del cerebro en este procesamiento.

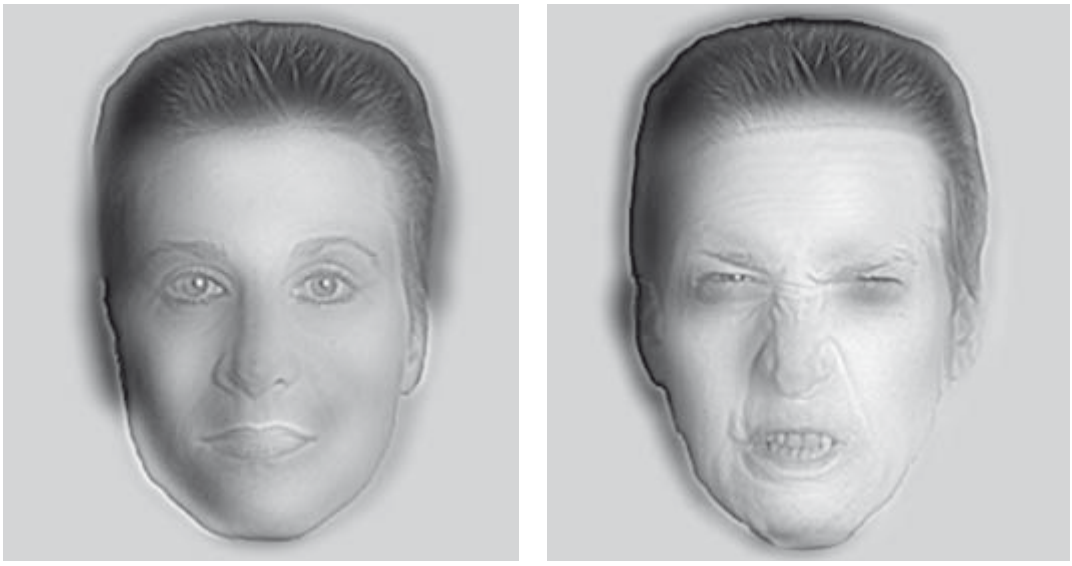
¿Furioso o tranquilo?

Comparemos los dos rostros que vemos en la figura *a*. Si mantenemos la página a una distancia de unos 30 o 35 centímetros, veremos que el rostro de la derecha está ceñudo y fruncido, enojado, mientras que el de la izquierda aparece con una expresión plácida.

Mas, si movemos la figura, de suerte que se encuentre a unos dos metros o dos metros y medio de distancia, las expresiones cambian. El rostro de la izquierda sonríe, mientras que el de la derecha parece tranquilo.

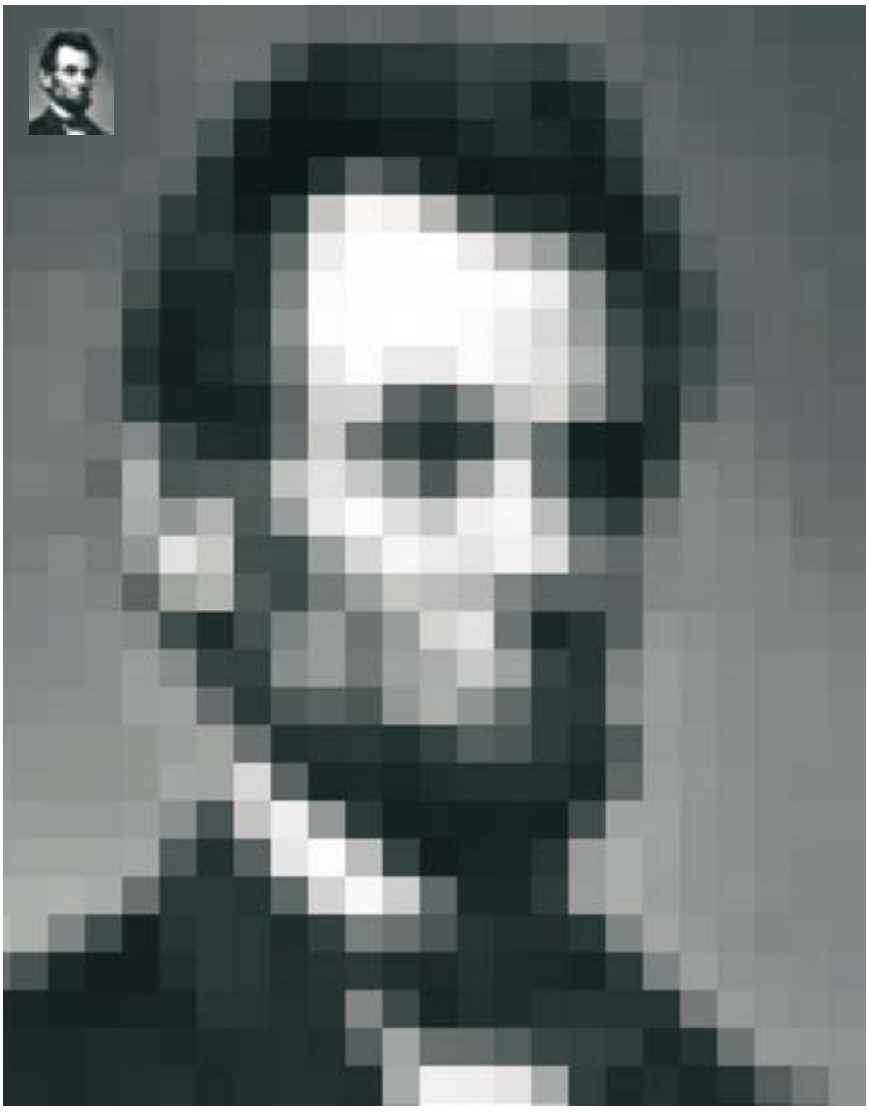
¿Cómo explicar semejante cambio? Parece cosa de magia. Para comprenderlo, es necesario explicar cómo fueron construidas las imágenes por Philippe G. Schyns, de la Universidad de Glasgow, y Aude Oliva, del Instituto de Tecnología de Massachusetts.

Un retrato ordinario (sea fotográfico o pintura) contiene variaciones en lo que los neurocientíficos denominan «frecuencia espacial». Mencionaremos dos tipos de frecuencia espacial. El primero es el de las frecuencias altas, correspondientes a las líneas finas, nítidas, o a los detalles presentes en la figura. El segundo tipo es el de las frecuencias bajas, correspondientes a los bordes borrosos o a los objetos grandes. (En realidad, casi todas las imágenes poseen un espectro de frecuencias que recorre la gama entera, desde las fre-



PHILIPPE G. SCHYNS, UNIVERSIDAD DE GLASGOW Y AUDE OLIVA, INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE MASSACHUSETTS, ADAPTADO DE «DR. ANGRY AND MR. SMILE...», EN *COGNITION*, 1999

a. ROSTROS CON DOS CARAS De cerca, un rostro es ceñudo, y el otro, tranquilo. Desde lejos, ambos cambian. ¿Cómo explicarlo?



b. CUESTIÓN DE DISTANCIAS
Si se mira de lejos o por el rabillo del ojo, el rostro pixelado de Abraham Lincoln aparece claro: se eliminan los bordes nítidos de los píxeles.

cuencias altas hasta las bajas, en diversas proporciones y contrastes, pero eso no es importante para los fines de este artículo.)

Por medio de algoritmos informáticos podemos procesar un retrato normal y eliminar del mismo, ora las frecuencias espaciales altas, ora las bajas. Si, por ejemplo, eliminamos las frecuencias altas, se obtiene una imagen desenfocada, de la que se dice que contiene las bajas frecuencias espaciales en el espacio de Fourier. (No tenemos necesidad aquí de preocuparnos de esta descripción matemática.) En breve, este procedimiento de difuminado (filtrado de paso bajo) elimina por filtrado las frecuencias espaciales altas (las líneas finas o los bordes nítidos) y solamente deja pasar bajas frecuencias. El filtrado de paso alto, que es el proceso contrario, retiene los bordes nítidos y los perfiles, pero elimina las variaciones de gran escala. El resultado se parece un poco al dibujo de un perfil sin sombreado.

Estos tipos de imágenes procesadas por ordenador han sido combinadas de forma atípica, para crear los rostros misteriosos que vemos en la figura *a*. Los investigadores comenzaron con fotografías normales de tres rostros: uno en calma, otro furioso, y otro sonriente. Seguidamente, aplicaron a cada rostro un filtro de paso-alto para obtener una imagen que contiene líneas finas y nítidas, y otro de paso-bajo, que da una imagen desenfocada y contiene las variaciones de luminancia de gran escala. Después combinaron el rostro tranquilo de paso-alto con el rostro sonriente de paso-bajo y obtuvieron la imagen de la izquierda. Para obtener la imagen de la derecha, superpusieron el rostro ceñudo de paso-alto con la faz tranquila de paso-bajo.

¿Qué ocurre al mirar las imágenes de cerca? ¿Por qué cambian sus expresiones al alejar la página? Para responder a estas preguntas, necesitamos traer a colación un par de conceptos más acerca del procesamiento visual. En primer lugar, se requiere que la imagen se halle cerca para que podamos ver los rasgos bien definidos. En segundo lugar, los rasgos nítidos, cuando son visibles, «enmascaran» los objetos de gran escala (frecuencias espaciales bajas) desviando la atención hacia ellos.

Así pues, al acercar la imagen, los rasgos nítidos se hacen más visibles, enmascarando los rasgos más burdos. El resultado es que el rostro de la derecha parece enojado, mientras que el de la izquierda da la impresión de tranquilidad. Lo que ocurre es, sencillamente, que uno no se fija en las emociones contrarias transmitidas por las frecuencias espaciales bajas. Entonces, al alejar la página, nuestro sistema visual deja de poder resolver los detalles finos. La expresión transmitida por tales detalles finos desaparece y, en cambio, la expresión correspondiente a las frecuencias bajas, desenmascarada, se percibe.

Este experimento pone vívidamente de manifiesto una idea que Fergus Campbell y John Robson, de la Universidad de Cambridge, postularon: la información proveniente de diferentes escalas espaciales es extraída en paralelo por diversos canales nerviosos, que poseen amplias gamas de campos de recepción de tamaños. (El campo receptivo de una neurona visual es la parte del campo visual y la diminuta porción correspondiente de retina a la que es necesario presentar un estímulo para que resulte activada.) Demuestra también que los canales no funcionan por separado. Antes bien, interactúan de formas interesantes (los bordes nítidos captados por pequeños campos receptivos enmascaran las variaciones difuminadas de gran escala señaladas por campos receptivos grandes).

MARGARET LIVINGSTONE HARVARD MEDICAL SCHOOL

C. LABIOS ENIGMÁTICOS
La sonrisa elusiva solo es visible cuando se mira lejos de la boca. Hay que observarla por el rabillo del ojo.

Abraham Lincoln

Los experimentos de esta clase se remontan a comienzos de los años sesenta, cuando Leon Harmon, que trabajaba en los Laboratorios Bell, ideó el famoso «efecto Abraham Lincoln». Harmon preparó la imagen de Honest Abe tomando una fotografía normal y digitalizándola mediante píxeles, o elementos de imagen, de gran tamaño (*b*). Las variaciones de brillo al pasar de una cuadrícula a otra contienen suficiente información para reconocer el rostro de Lincoln. Pero estos datos, como se ha señalado ya, están enmascarados por los bordes nítidos de los píxeles. Al alejarnos de la fotografía, o al mirarla por el rabillo del ojo la imagen se difumina, y se eliminan los bordes nítidos. De repente, Lincoln resulta reconocible. Esta ilusión inspiró a Salvador Dalí, quien la empleó como base de sus cuadros, en una inusitada yuxtaposición de arte y ciencia.

El misterio de la Mona Lisa

Tomemos, por último, la sonrisa enigmática de la *Mona Lisa* de Leonardo da Vinci. Los filósofos e historiadores del arte dedicados a los problemas de estética suelen hablar de su expresión «enigmática» o «elusiva», sobre todo, porque no la comprenden. A decir verdad, nos preguntamos si es que prefieren no comprenderla, porque encuentran indignantes y agraviosos los intentos de explicarla científicamente, temiendo, según parece, que tales análisis puedan mermar su belleza.

Pero la neurobióloga Margaret Livingstone, de la facultad de medicina de Harvard, hizo una intrigante observación. Se podría decir que había descerrajado el código da Vinci. Se dio cuenta de que, cuando miraba directamente a la boca de Mona Lisa (*c, panel central*), la sonrisa no era perceptible (desilusión total). Sin embargo, al alejar la mirada de la boca, fijándose en los ojos, la sonrisa aparecía. Si volvía a fijarse en la boca, notó que la sonrisa volvía a desaparecer.

De hecho, observó, la sonrisa ambigua solamente puede ser vista cuando se mira lejos de la boca. Es necesario verla con el rabillo del ojo, en lugar de examinarla directamente. A causa del peculiar sombreado (colocación de frecuencias espaciales bajas) en las comisuras de los labios, solo se percibe una sonrisa cuando son dominantes las frecuencias espaciales bajas, es decir, cuando se mira indirectamente a la obra maestra.

Para confirmar esta idea, Livingstone aplicó a una imagen de la *Mona Lisa* un filtro de paso-bajo (*c, panel de la izquierda*) y un filtro de paso-alto (*c, panel derecho*). Observemos que en la imagen (borrosa) de paso-bajo, la sonrisa es más evidente que en el original: es visible incluso si se mira directamente a la boca. Sin embargo, en la imagen de paso-alto (la imagen de finos trazos) no se aprecia sonrisa alguna, ni aun mirando lejos de la boca.

Al conjuntar estas dos imágenes se restaura la obra maestra original y reaparece la elusiva naturaleza de la sonrisa. Al igual que en el caso de los rostros cambiantes, podemos ahora apreciar mejor aquello con lo que Leonardo acertó y de lo que se enamoró: un retrato que parece vivo porque su expresión fugaz (debida a las peculiaridades de nuestro sistema visual) deja perpetuamente asombrado a quien la contempla.

Estos experimentos, tomados colectivamente, muestran que en la percepción hay más de lo que parece a primera vista. Demuestran que la información a diferentes escalas, como el contraste de los detalles finos con la estructura gruesa, puede extraerse inicialmente de una imagen mediante canales nerviosos distintos y recombinados en diferentes fases del procesamiento, para crear en la mente la impresión final de una imagen única e integrada.

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 24

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

DR. ANGRY AND MR. SMILE. WHEN CATEGORIZATION FLEXIBLY MODIFIES THE PERCEPTION OF FACES IN RAPID VISUAL PRESENTATIONS. Philippe G. Schyns y Aude Oliva en *Cognition*, vol. 66, n.º 3, págs. 243-265, 1999.

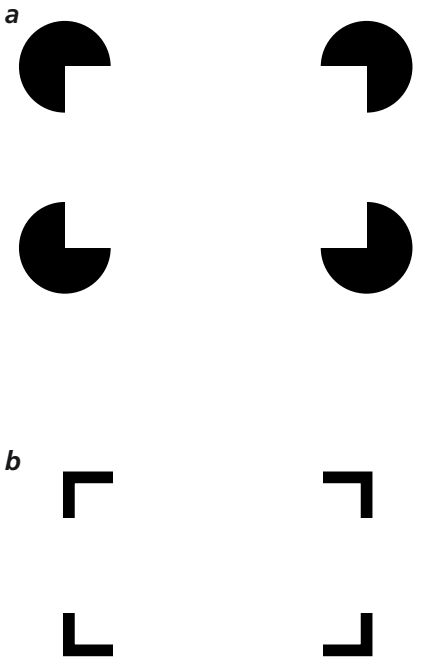
La realidad de los contornos ilusorios

¿Por qué parece más real un rectángulo imaginario que otro trazado con líneas auténticas?

VILANAYUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

La velocidad de cómputo de los ordenadores, aunque pasmosa, no puede competir con la increíble capacidad del sistema visual humano para construir una figura coherente a partir de fragmentos ambiguos de una imagen. El cerebro parece acertar sin esfuerzo en la interpretación correcta valiéndose de conocimientos de carácter estadístico sobre el mundo, que ha incorporado e integrado en sí y le permiten eliminar soluciones poco probables.

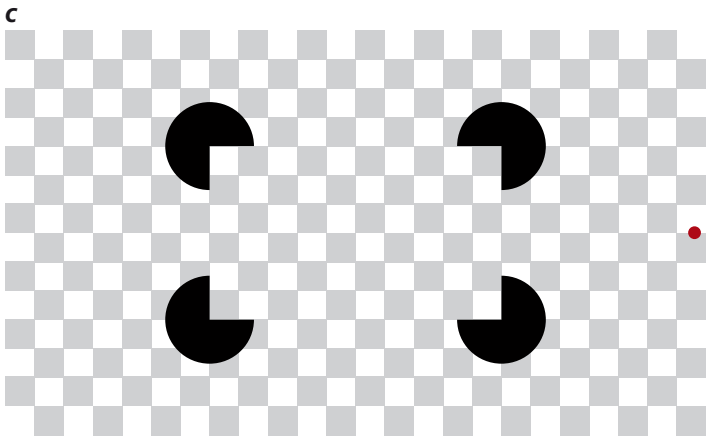
Esta faceta «heurística» de la percepción se pone de manifiesto en la figura *a* con el conocido rectángulo ilusorio del psicólogo italiano Gaetano Kanizsa, ya fallecido, y de Richard L. Gregory, que en la actualidad es emérito en la Universidad de Bristol. Nuestro cerebro considera del todo improbable que algún científico malicioso haya alineado deliberadamente cuatro «comecocos» en la forma mostrada; por ello acepta la interpretación más económica, a saber, un rectángulo blanco y opaco que recubre parcialmente a cuatro discos negros que hay debajo. Resulta notable que muchos de nosotros lleguemos incluso a insertar —a «alucinar»— los bordes del rectángulo fantasma. El propósito principal de la visión, cabría pensar, habría de consistir en segmentar la escena para descubrir contornos de objetos, y así nosotros podamos identificarlos y responder a ellos.

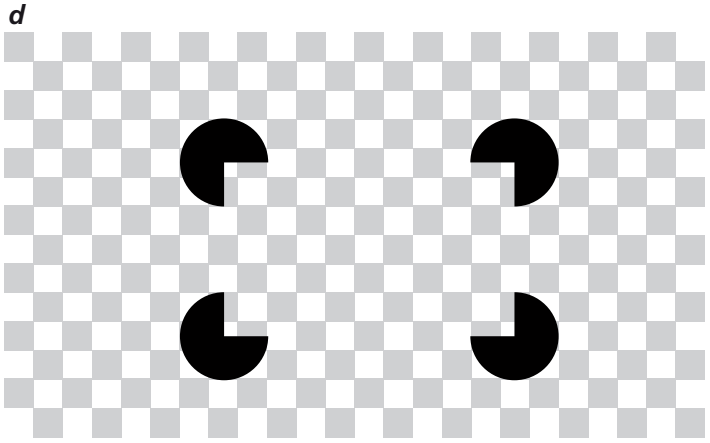


Ahora bien, podríamos imaginar que la mera presencia de bordes alineados y bien orientados habría de bastar para que el cerebro «completase» los hiatos. Pero la figura *b* echa abajo tal supuesto. Al comparar la ausencia de contornos ilusorios en *b* con su presencia en *a*, sacamos la conclusión de que el indicio crítico es la oclusión *implícita*.

Concordancias y realidades

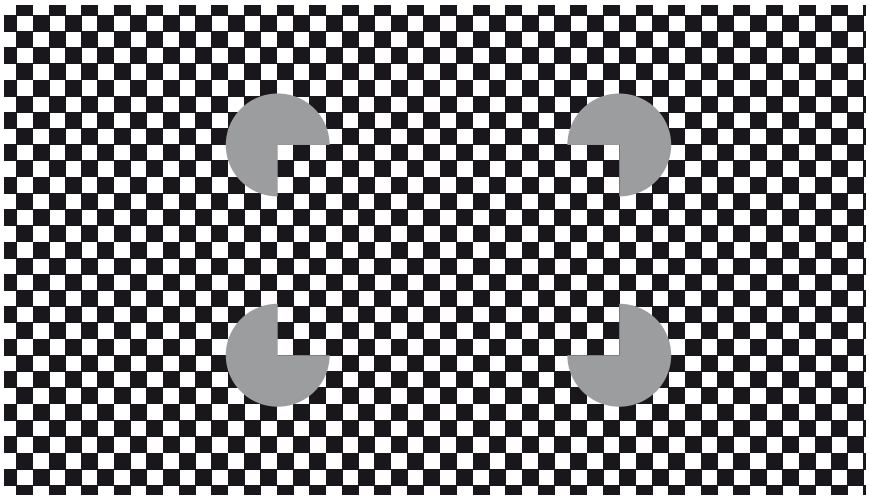
En *c* y en *d* la figura *a* ha sido superpuesta a un fondo cuadriculado. Observemos que en *d* los contornos ilusorios desaparecen. El cerebro se percata de que, para ocluir los cuatro discos negros, el rectángulo ten-



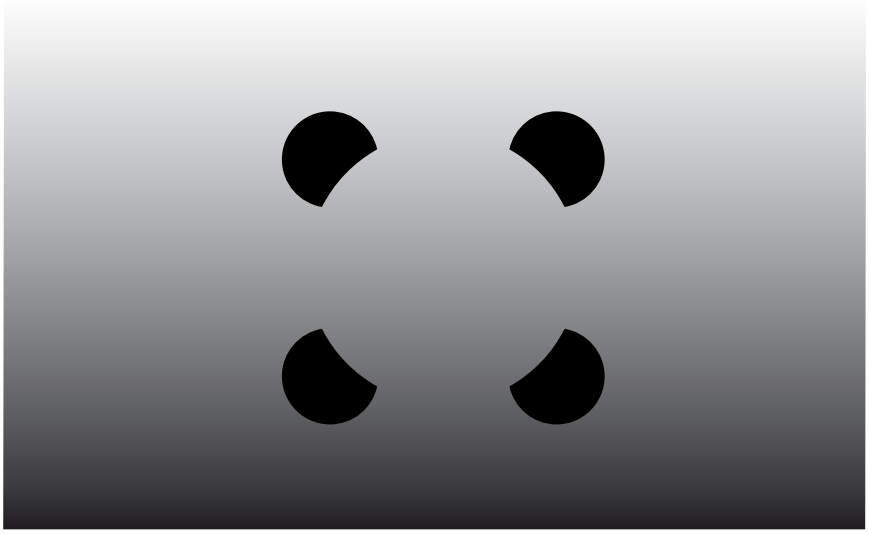


TODAS LAS ILUSTRACIONES DE ESTE ATICULO: *SCIENTIFIC AMERICAN*

e



f



dría que ser opaco. Pero si es opaco, ¿cómo pueden verse los cuadros del escaqueado a su través? En consecuencia, el cerebro rechaza este percepto.

En *c* los cuadros del fondo escaqueado están alineados de forma que sus ángulos coincidan con las bocas de los comecocos. El rectángulo de oclusión reaparece: de hecho, se percibe más nítidamente que el contorno ilusorio por sí solo. Cuando son varias las fuentes que informan sobre un borde y estas concuerdan espacialmente (en este caso, los lados de las cuadrículas, definidas por su luminancia, y los bordes ilusorios sugeridos por el efecto de oclusión), el cerebro valora dichas concordancias como prueba concluyente de que el borde es real.

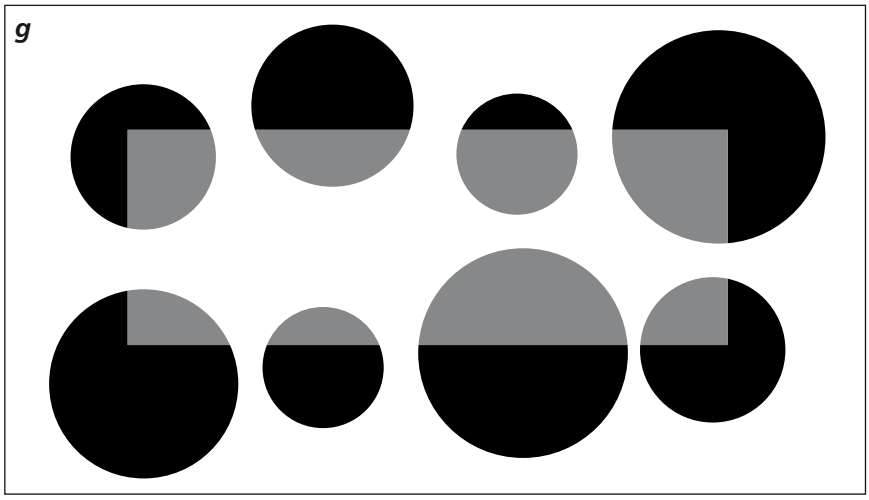
¿Cómo explicar, pues, la desaparición, en *e*, del rectángulo ilusorio, que podría ser interpretado lógicamente como un rectángulo texturado que ocluye a cuatro discos grises situados en el trasfondo? Para comprender esta anomalía es necesario invocar una explicación basada en el «hardware» cerebral —en la fisiología de las neuronas— y no en el «software» mental. Se observará que hemos igualado la luminancia media de la textura con la luminancia de los comecocos. Las neuronas cerebrales que extraen los bordes ilusorios solo pueden identificar bordes definidos por diferencias de luminancia, a causa de la forma en que las neuronas evolucionaron. Considerado que los comecocos de la figura están definidos por una diferencia de granulación, y no de luminancia, no se aprecian contornos ilusorios, a pesar de que la «lógica» de la situación dicte que así debiera ser.

Círculo ilusorio

Hemos superpuesto en *f* un círculo ilusorio sobre un gradiente simple de luminancia. La región encerrada por el círculo parece sobresalir directamente hacia el observador, y la ilusión es más acusada todavía si se mira un poco al sesgo para que la imagen se difumine ligeramente. El cerebro deduce que el gradiente tiene que proceder de una superficie curva iluminada desde arriba; el círculo ilusorio interactúa con esta impresión para producir la interpretación final de una esfera.

Ahora bien, si se superpone sobre el gradiente una circunferencia «real» trazada en fina línea negra, formada a partir de un borde basado en luminancia, no aparece abombamiento alguno. Esta observación conduce a un aforismo paradójico que hemos inventado para incordiar a los filósofos, a saber, que los contornos ilusorios parecen tener mayor realidad que los auténticos contornos. Tales bordes de luminancia pueden surgir en la escena visual por un buen número de razones; el borde

g



¿Buscas empleo en el sector de la ciencia y la tecnología?

nature jobs

La mayor bolsa de empleo científico del mundo ahora también en

investigacionyciencia.es

nature publishing group npg

El cerebro considera inverosímil que un científico malicioso haya alineado así cuatro «comecocos» de forma deliberada

de una sombra, por ejemplo, o las franjas de una cebra. No implican que se trate necesariamente de contornos de objetos.

Los neurobiólogos David H. Hubel y Torsten N. Wiesel, ambos de la Universidad Harvard, descubrieron en 1961 el alfabeto básico de la visión (más adelante habrían de compartir un premio Nobel en fisiología por sus esfuerzos por sacar a la luz el procesamiento de información en el sistema visual); ciertas neuronas individuales de las áreas 17 y 18 (ubicadas en el lóbulo occipital) solo se disparan si se proyectan en un lugar determinado de la pantalla líneas de una orientación dada («campo receptivo»). Muchas de ellas responden exclusivamente a líneas de una determinada longitud: si la línea es demasiado larga, dejarán de emitir descargas («células de terminación», o *end-stopped*). El neurofisiólogo Rudiger von der Heydt, de la Universidad Johns Hopkins, ha sugerido que estas células nos revelan que una oclusión implícita está efectivamente cortando la línea; la verdad es que tales neuronas responden a los contornos ilusorios.

El lector puede poner de manifiesto la existencia de tales células en su propio cerebro. Si se fija la mirada persistentemente en el punto rojo situado a la derecha de *c*, se observará que al cabo de unos pocos segundos el rectángulo ilusorio se esfuma, a pesar de que se siguen viendo las cuadrículas y los comecocos. Las células que señalan los bordes ilusorios se han «fatigado» por la fijación constante, que las hiperactiva y así agota sus neurotransmisores químicos. Si movemos los ojos, los bordes reaparecen, porque ha entrado en servicio un nuevo conjunto de células. Según parece, las células asociadas a contornos ilusorios se fatigan con mayor facilidad que las que señalan los bordes reales de los cuadros del escaqueado y los comecocos.

Echemos, finalmente, una ojeada a *g*, una ilusión ideada por Kanizsa. Al principio, la figura parece consistir en un rectángulo horizontal opaco dotado de agujeros a través de los cuales se puede ver otro rectángulo (horizontal). Pero con un pequeño esfuerzo podemos «imaginar» que se trata de un rectángulo semitranslúcido más pequeño, que, a modo de un velo, descansa sobre los agujeros (o los discos) del mayor, y de repente uno ve los bordes ilusorios «completando» los hiatos que dejan los discos. Así pues, son aplicables a la escena las complejas reglas de segmentación de la imagen, que incorporan las leyes físicas de transparencia. Las neuronas situadas en las primeras fases del procesamiento visual pueden señalar bordes ilusorios, pero la modulación en sentido descendente basada en la atención visual puede rechazar o aceptar los contornos, dependiendo de la coherencia general con la escena.

V. S. Ramachandran y D. Rogers-Ramachandran investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 32

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

SUBJECTIVE CONTOURS. Gaetano Kanizsa en *Scientific American*, vol. 234, n.º 4, págs. 48-52; abril, 1976.

PERCEPTION OF AN ILLUSORY CONTOUR AS A FUNCTION OF PROCESSING TIME. R. I. Reynolds en *Perception*, vol. 10, n.º 1, págs. 107-115, 1981.

SUBJECTIVE CONTOURS CAPTURE STEREOPSIS. V. S. Ramanchandran y P. Cavanagh en *Nature*, vol. 317, págs. 527-530, 10 de octubre de 1985.

ON THE PERCEPTION OF ILLUSORY CONTOURS. V. S. Ramachandran, D. Ruskin, S. Cobb y D. Rogers-Ramachandran en *Vision Research*, vol. 34, n.º 23, págs. 3145-3152, diciembre de 1994.

Leer entre líneas

Cuando un objeto queda en parte oculto, el cerebro, con gran maña, lo reconstruye y crea un todo visual

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN Y DIANE ROGERS-RAMACHANDRAN

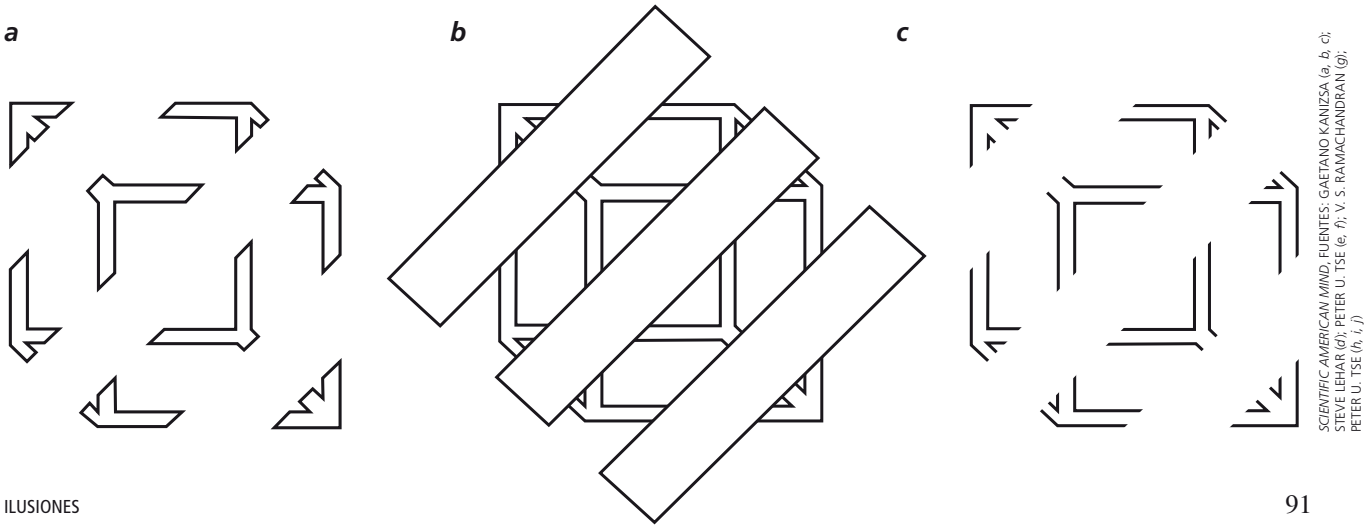
Imagínese que mira a un perro que se encuentra tras una valla de barrotes: no ve una serie de franjas de perro, sino que percibe un perro en parte oculto por una serie de barras verticales. La capacidad del cerebro para unificar las porciones del cánido y construir con ellas un objeto visual completo demuestra un proceso fascinante: la complementación amodal.

CORBIS

Tal tendencia ha evolucionado por una razón: los animales necesitan ser capaces de encontrar pareja, depredadores o presas en medio de un denso follaje. Es posible que la imagen proyectada en sus retinas conste solo de fragmentos, mas el sistema visual del encéfalo los concatena y pone en relación; es decir, reconstruye el objeto de modo que el animal que observa puede reconocer aquello que ve. Este proceso, en apariencia sencillo, resulta una de esas capacidades tan difíciles de programar en un ordenador. Tampoco se conoce el modo en que las neuronas de las vías visuales del cerebro efectúan tal proeza.

A principios del siglo XX, los psicólogos de la Gestalt mostraron sumo interés en el problema. Concibieron una serie de ilusiones sagazmente ideadas para investigar cómo establece el sistema visual la continuidad de un objeto y define sus contornos cuando el objeto se encuentra, en parte, velado. Un ejemplo notable de complementación amodal es una ilusión de Gaetano Kanizsa, psicólogo italiano. En una de las vistas se observa un conjunto de «patas de gallina» geométricamente dispuestas (*a*). Mas basta añadir un conjunto de barras diagonales opacas para que, de forma inmediata, como por arte de magia, brote de la nada un hexaedro. Las patas de gallina se convierten en sus vértices (*b*).

Lo asombroso del caso es, sin embargo, que ni siquiera resulta necesario superponer barrotes auténticos: servirán incluso unas barras ilusorias (*c*). En esta circunstancia, la que de otro modo parecería una ausencia inexplicable de contornos que completen los límites de las patas tridác-



SCIENTIFIC AMERICAN MIND, FUENTES: GAETANO KANIZSA (*a*, *b*, *c*); STEVE LEHAR (*d*); PETER U. TSE (*e*, *f*); V. S. RAMACHANDRAN (*g*); PETER U. TSE (*h*, *i*, *j*)

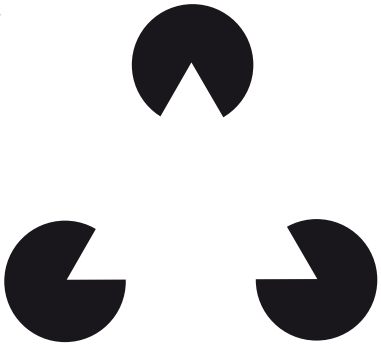
tilas de gallina induce al cerebro a inferir automáticamente la presencia de barras opacas. Con ello, ¡vemos un cubo ilusorio oculto tras barras ilusorias!

El término «complementación amodal» se acuñó con el fin de diferenciarla de la complementación modal. Esta última consiste en la tendencia del cerebro a ver el perfil completo de un objeto inexistente, como ocurre en la clásica ilusión del triángulo de Kanizsa (*d*). El cerebro estima como harto improbable que un investigador haya situado de manera subrepticia y precisa tres discos negros con sectores recortados (como si fuesen porciones de tarta), por lo que opta por ver un triángulo blanco opaco que cubre parcialmente dichos discos negros.

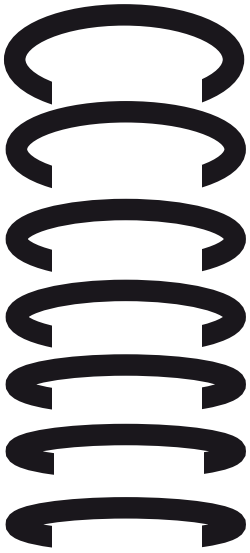
Señalemos, no obstante, que las percepciones modal y amodal pueden coexistir. Por ejemplo, en el triángulo de Kanizsa, el cerebro completa de forma amodal cada uno de los discos situados tras los vértices del triángulo ilusorio. De manera análoga, en la figura *c*, las barras ilusorias son completadas de manera modal; la percepción del cubo, en cambio, es amodal.

Peter U. Tse, experto en psicología cognitiva del Colegio Darmouth, ha ideado numerosas y elegantes ilusiones con la finalidad de explorar las percepciones modal y amodal. Una de ellas, en la figura *e*, resulta ambigua, como sucede en numerosas de nuestras ilusiones favoritas. Existe una fuerte propensión a percibir en esa figura una serie de aros (completados de forma amodal) que rodean un cilindro ilusorio opaco (modalmente completado). Sin embargo, también es posible ver una columna de arcos de metal abiertos en forma de C, sin cilindro alguno, con los extremos apuntando hacia delante. La tendencia a ver anillos se debe a que refleja mejor situaciones del mundo real, en el que abundan los objetos tridimensionales que se ocultan y anteponen entre sí. Otra de las ilusiones de Tse (*f*) —que cariñosamente describimos como «alienígena apoderándose de la última rosquilla»— posee también aspectos modales y amodales. Parece consistir en una serie de garabatos o púas de alambre de espino, hasta que el ojo discierne una serie de dedos tentaculares que aferran un tubo tórico.

d



e



f

Un túnel transparente

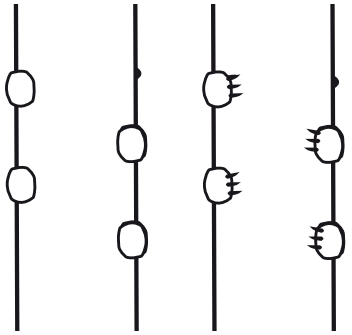
Cabría pensar que la complementación amodal entraña un razonamiento («Entre el perro y yo se interpone una valla, por eso veo franjas de perro»), pero en realidad se trata de un fenómeno perceptual que no requiere cogitación alguna.

Cuando una persona observa que de debajo del sofá sobresale una cola que se menea en vaivén, considera que más allá del rabo debe hallarse un perro, efectúa una inferencia lógica. En cambio, si por encima del brazo lejano del sofá asoma la cabeza de un can, entonces, de modo automático, sin esfuerzo alguno, mediante la complementación amodal, estaría percibiendo al perro entero sin ver sus partes ocultas.

De manera similar, cuando vemos a una persona con los brazos formando una cruz delante del pecho, caben dos interpretaciones posibles. Un cirujano malicioso podría haber amputado uno de los brazos y adherido una mitad a cada lado del brazo intacto. Pero también pudiera ser que un brazo estuviera en posición perpendicular por delante del otro. Nuestro sistema visual decide de manera instantánea que la segunda opción es la certera; la primera explicación ni se nos pasa por la cabeza. Ello no se debe a un conocimiento de alto nivel sobre la improbabilidad de la amputación de brazos: el cerebro reaccionaría de modo inmediato y de igual manera en el caso de que la cruz fuese de madera, si bien podría haber sido serrada a piezas.

Existen, sin embargo, casos fronterizos, como el oso situado detrás de un árbol que percibimos como si estuviéramos alucinando (*g*). El dibujo parece presentar solo círculos bisecados por rectas, hasta que la adición que parece simular uñas provoca que el lunar dibujado arriba a la derecha se transforme en un hocico y los círculos en garras. Si, por ejemplo, vemos un tren de juguete entrar con rapidez en un túnel corto y salir por el otro lado en cosa de un tercio de segundo, «veremos» incluso el movimiento del tren, como si el túnel fuese transparente. En este caso, habremos completado modalmente el movimiento a través del túnel,

g



h

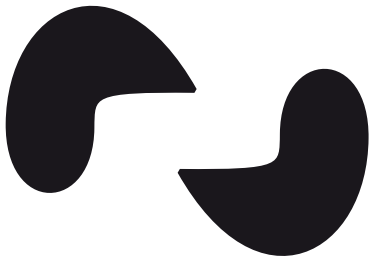
fenómeno señalado por vez primera por Albert Michotte (1881-1965), psicólogo de la escuela de la Gestalt.

Por otra parte, si el tren se mueve lentamente, si se toma uno o dos minutos en atravesar el túnel, seguiremos sabiendo que en el túnel ha entrado y salido un mismo tren; sin embargo, esta vez se tratará de una inferencia lógica, no de una percepción visual. Con ocultaciones del orden de un segundo nos encontramos en una situación fronteriza entre la percepción y la lógica; la cuestión de si realmente «se observa» el movimiento se aproxima de manera peligrosa a una cuestión filosófica.

Felinos elongados

Tan vigorosa resulta la tendencia a presumir contornos que llega a imponerse sobre lo que sabemos acerca del funcionamiento real del mundo, como demuestra el ejemplo de un gato que parece estirado de forma inverosímil alrededor de un tronco (*h*): el cerebro responde a la continuidad, tenga sentido o no.

i



Tales anomalías visuales acontecen porque estas reglas son evolutivamente antiguas y no fueron diseñadas para manejar yuxtaposiciones inverosímiles ideadas por científicos curiosos. La programación en el sistema visual de conocimientos refinados sobre objetos hubiera exigido demasiado y, además, sería innecesaria. Solo en los mitos y en las fantasías se metamorfosean de forma brusca los animales en figuras insólitas.

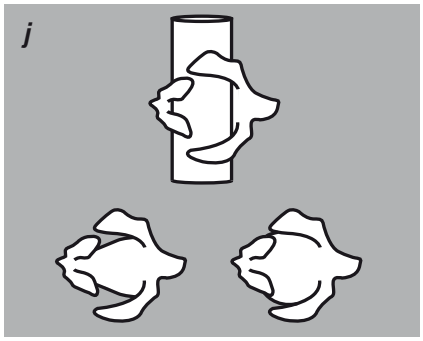
Según las teorías que defienden un procesamiento visual por etapas, jerarquizado, la detección de bordes en un dibujo bidimensional constituye un proceso relativamente simple, el cual precede necesariamente a la construcción de representaciones tridimensionales de alto nivel. Empero, otras figuras diseñadas por Tse arrojan sombras sobre esta conclusión.

La más sencilla sirve de emblema a su laboratorio (*i*). Se puede percibir como un par de siluetas de la cabeza de un ave (una de ellas vuelta hacia abajo); también como un gusano tridimensional arrollado en torno a un cilindro blanco (el gusano se completa de forma amodal por la presencia del cilindro). A diferencia del triángulo de Kanizsa, en el que los tres sectores recortados se encuentran alineados, de manera que implican la existencia de bordes, en la figura de Tse no existe ni continuidad directa de bordes luminosos ni de contornos físicos. Sin embargo, el cerebro percibe el gusano tridimensional. Tales ilusiones hacen pensar que la percepción amodal no se reduce a una mera cuestión de relleno de contornos continuos. El sistema visual es más sagaz. De hecho, en otra de las creaciones de Tse (*j*), los objetos se completan de forma amodal por detrás de contornos, sin que su forma exacta pueda ser ni siquiera especificada.

Lecciones objeto

Los neurobiólogos David H. Hubel y Torsten N. Wiesel, de la Universidad Harvard, demostraron en sus trabajos seminales de los años sesenta del siglo XX que las neuronas de la corteza visual primaria respondían principalmente a los bordes oscuro y

j



claro correspondientes a los contornos de un objeto o una criatura. Rudiger von der Heydt, de la Universidad Johns Hopkins, ha demostrado en fechas posteriores que las neuronas de la corteza visual secundaria responden a contornos ilusorios (como los del triángulo de Kanizsa).

Todo lo cual nos recuerda que un objetivo clave de la visión consiste en la detección de objetos (no de meros contornos) a partir de cualesquiera informaciones que las circunstancias ofrezcan. Tanto la percepción modal como la amodal, así como las ilusiones que ambas inspiran, tienen su origen en este elemental imperativo visual.

V. S. Ramachandran y *D. Rogers-Ramachandran*
investigan en el Centro para el Cerebro y la Cognición de la Universidad de California en San Diego.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 50

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

AMODAL COMPLETION IN THE ABSENCE OF IMAGE TANGENT DISCONTINUITIES. P. U. Tse y M. K. Albert en *Perception*, vol. 27, n.º 4, págs. 455-464, 1998.

FILLING IN THE BLIND SPOT. V. S. Ramachandran en *Nature*, vol. 356, pág. 115, 12 de marzo de 1992.

FILLING-IN: FROM PERCEPTUAL COMPLETION TO CORTICAL REORGANIZATION. Dirigido por Luiz Pessoa y Peter De Weerd. Oxford University Press, 2003.

BRAIN AND VISUAL PERCEPTION: THE STORY OF A 25-YEAR COLLABORATION. David H. Hubel y Torsten N. Wiesel. Oxford University Press, 2004.

Solo para sus ojos

La mirada tiene una importancia crítica para primates sociales como los seres humanos. Quizá sea este el motivo de que las ilusiones relacionadas con los ojos nos parezcan tan atractivas

SUSANA MARTINEZ-CONDE Y STEPHEN L. MACKNIK

Los ojos son las ventanas del alma. Por esta razón pedimos a la gente que nos mire a los ojos y nos diga la verdad. O nos preocupamos si alguien nos echa mal de ojo, o si a nuestra pareja se le va la vista hacia otra persona. Nuestro lenguaje está lleno de expresiones que indican hacia dónde mira la gente, sobre todo cuando lo hacen en nuestra dirección.

Como primates sociales, los humanos tenemos un gran interés en determinar la dirección de la mirada de otros humanos. Es importante para evaluar sus intenciones y crítico para estrechar lazos y negociar relaciones. Los amantes se miran mutuamente a los ojos durante largos intervalos; los bebés concentran la mirada intensamente en los ojos de sus progenitores. Incluso los recién nacidos observan representaciones de rostros durante períodos más largos que los que emplean en mirar caras de simplicidad equivalente en las que los ojos y otras características faciales se encuentran en desorden.

En este artículo se analizan una serie de ilusiones relacionadas con la manera en que el cerebro procesa la imagen de los ojos y las miradas, que demuestran lo sencillo que resulta hacernos creer que alguien está mirando hacia otro lado.

Susana Martinez-Conde y Stephen L. Macknik investigan en el Instituto Neurológico Barrow en Phoenix, Arizona.

Artículo publicado en *Mente y cerebro* n.º 54

CORTESÍA DE ROB JENKINS / UNIVERSIDAD DE GLASGOW

MIRADA FANTASMA

El no saber hacia dónde mira alguien nos causa desasosiego. Esta es la razón por la que puede resultar incómodo conversar con alguien que lleve gafas de sol. Y explica también que una persona se ponga gafas oscuras para tener una apariencia «misteriosa».

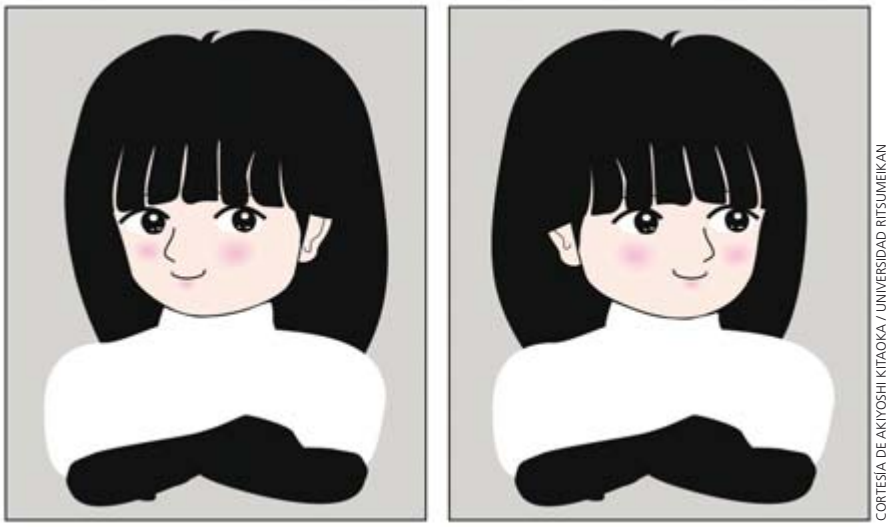
Una ilusión visual identificada en fecha reciente aprovecha el efecto inquietante de la falta de certeza en la dirección de la mirada. Nos referimos a la «mirada fantasmagórica», creada por Rob Jenkins, de la Universidad de Glasgow, que recibió el segundo premio en el concurso Mejor Ilusión del Año, celebrado en 2008 en Naples, Florida. En esta ilusión (*izquierda y centro*), dos hermanas gemelas parecen mirarse la una a la otra cuando uno las observa desde lejos. Pero al aproximarnos a ellas, ¡nos damos cuenta de que nos están mirando directamente!

La ilusión consiste en una imagen híbrida que combina dos fotografías superpuestas de la misma mujer que difieren en dos aspectos importantes: el nivel de detalle espacial (fino o grueso) y la dirección de su mirada (hacia los lados o hacia el frente). Las imágenes que se miran entre sí contienen solo rasgos burdos, mientras que las imágenes que miran al frente están formadas por detalles minuciosos. Cuando nos acercamos a las fotografías, podemos ver todos los detalles finos; las hermanas dan la impresión de estar mirando al frente. Pero cuando nos alejamos, predomina el detalle grueso, de modo que las hermanas parecen mirarse a los ojos. Para una demostración interactiva, visítese illusionoftheyear.com/2008/ghostly-gaze

En otro ejemplo de una imagen híbrida (*derecha*), una cara fantasmal parece mirar a la izquierda cuando sostenemos la página a una distancia normal para la lectura. Pero si nos alejamos unos cuantos metros, mirará hacia la derecha.

CLAVES CONTEXTUALES

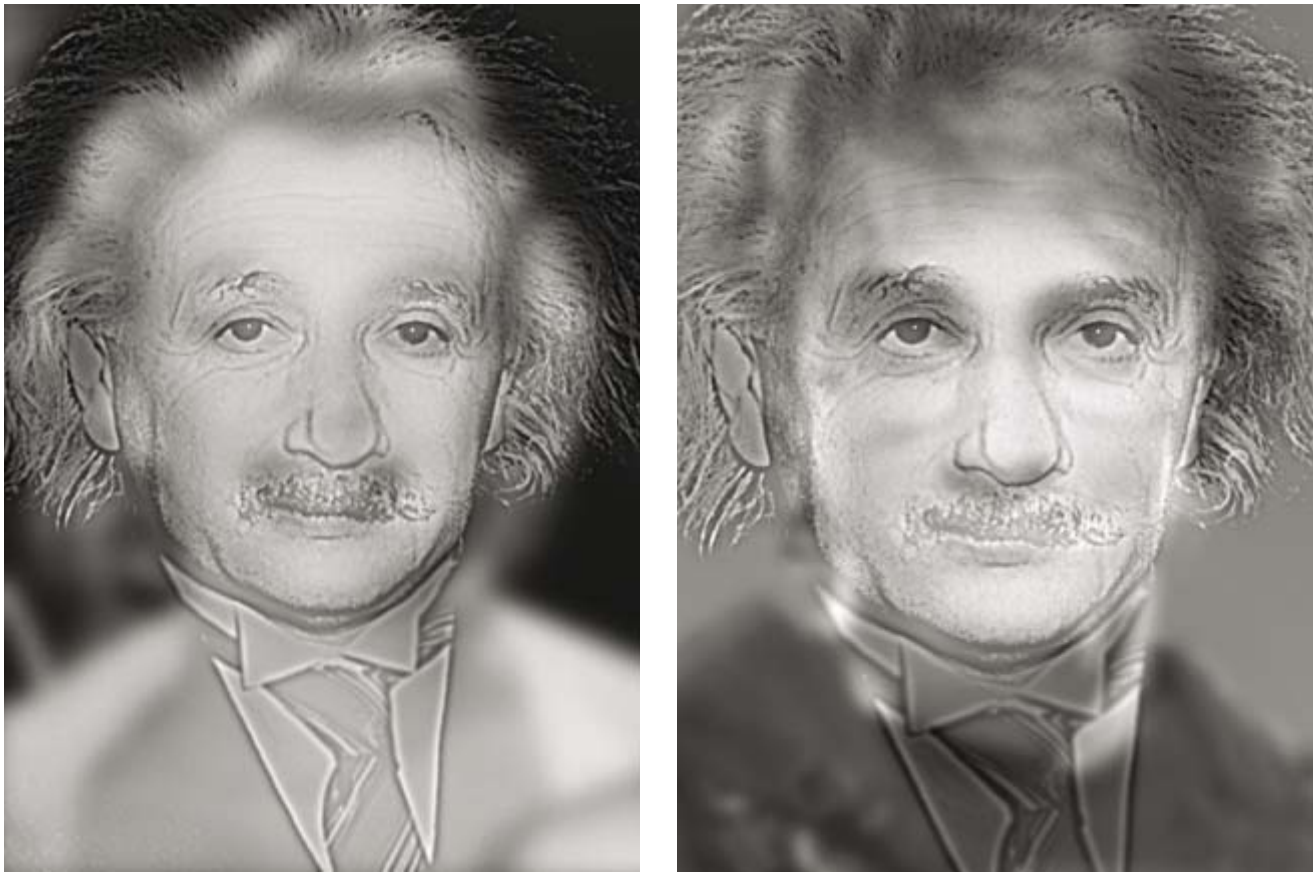
Las claves contextuales, como la posición de la cara y la cabeza, también influencian la percepción de la dirección de la mirada. En esta ilusión creada por Akiyoshi Kitaoka, profesor de psicología de la Universidad Ritsumeikan en Japón, la niña de la izquierda parece observarnos directamente, mientras que la niña de la derecha parece mirar a su izquierda. En realidad, los ojos de ambas niñas son idénticos. Esta ilusión fue descrita por primera vez en 1824 por el químico y filósofo natural británico William Hyde Wollaston, quien también descubrió los elementos paladio y rodio.



CORTESÍA DE AKIYOSHI KITAOKA / UNIVERSIDAD RITSUMEIKAN

LAS PERSONALIDADES SECRETAS DE EINSTEIN

La ilusión de la mirada fantasmagórica está basada en una técnica de imágenes híbridas creada por Aude Oliva y Philippe G. Schyns, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. En un sorprendente ejemplo de cómo la interpretación perceptual de imágenes híbridas varía con la distancia, Albert Einstein, visto desde cerca, se convierte en Marilyn Monroe (*izquierda*) o en Harry Potter (*derecha*), cuando nos alejamos unos metros. Para ver más imágenes híbridas creadas por el laboratorio de Oliva, visítese cvcl.mit.edu/hybrid_gallery/gallery.html



CORTESÍA DE AUDE OLIVA M.I.T.

CORTESÍA DE WALDEMAR JUNQUEIRA

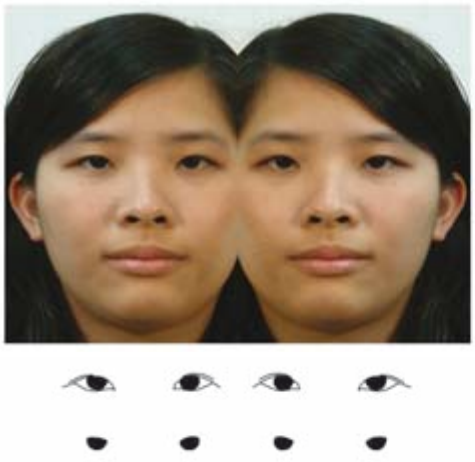
¿VISIÓN DOBLE?

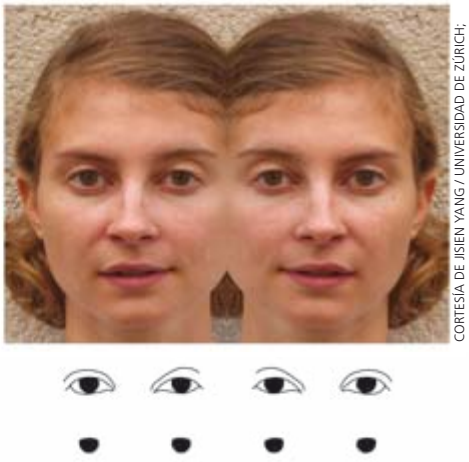
¿Qué pasaría si duplicamos algunos de los rasgos de un retrato sin solaparlos por completo? Es relativamente fácil crear con Photoshop imágenes en las que los ojos y la boca, pero no los otros rasgos de la cara, aparecen duplicados. Los resultados son poco menos que alucinatorios: el cerebro se esfuerza (y fracasa) en fusionar los rasgos duplicados, haciendo que la fotografía parezca inestable y temblorosa, y los observadores experimentan algo parecido a la visión doble.

Los mecanismos neurales de esta ilusión pueden hallarse dentro de los circuitos del sistema visual especializados en la percepción de rostros. Si duplicamos los ojos y las bocas de un retrato, las neuronas de las áreas cerebrales encargadas del reconocimiento de caras pueden no ser capaces de procesar correctamente esta información visual. Este fallo podría provocar que las caras resulten inestables y difíciles de percibir.

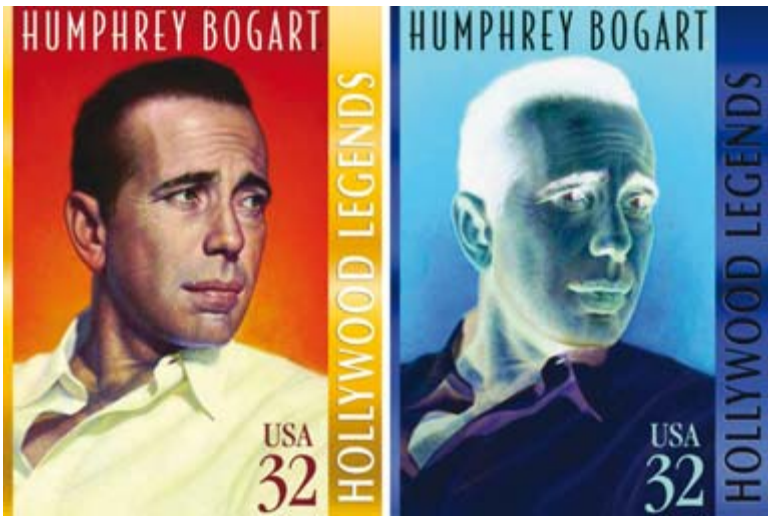
LA ILUSIÓN DEL IRIS

Esta ilusión creada por los científicos de la visión Jisien Yang y Adrian Schwaninger, del grupo de investigación en cognición visual de la Universidad de Zúrich, fue una de las diez finalistas del concurso Mejor Ilusión del Año en 2008. Muestra que el contexto, como la forma de los párpados y la cara, afecta a la distancia aparente entre los iris. Consideremos el par de rostros asiáticos mostrado aquí: la distancia entre el ojo izquierdo de la cara derecha y el ojo derecho de la cara izquierda parece corta. En las caras europeas, la separación parece mayor. Prestemos atención a las reconstrucciones de los ojos y los iris bajo cada una de las caras: sin el contexto de la forma de la cara y los párpados, resulta claro que los espacios entre los iris son iguales. Visítese illusionoftheyear.com/2008/yangs-iris-illusion para más información.





CORTESÍA DE JISIEN YANG / UNIVERSIDAD DE ZÚRICH; ADRIAN SCHWANINGER / UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS DEL NOROESTE DE SUIZA Y UNIVERSIDAD DE ZÚRICH



CORTESÍA DE PAWAN SINHA Y TOMASO POGGIO M.I.T.

«ESTOY MIRÁNDOTE, NENA»

El investigador de la visión Pawan Sinha, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, nos muestra con esta ilusión que nuestro cerebro cuenta con mecanismos especializados para determinar la dirección de la mirada. En la fotografía normal de Humphrey Bogart (*izquierda*), el actor parece mirar a su izquierda; en el negativo (*derecha*), parece mirar en dirección opuesta. Sin embargo, la cara de Bogart no mira hacia el lado contrario; solo se han invertido las partes oscuras y claras de los ojos. ¿Por qué? La respuesta es que tenemos módulos especializados en el cerebro que determinan la dirección de la mirada mediante la comparación de las partes oscuras de los ojos (iris y pupilas) con las claras. En la cara «negativa», el blanco de los ojos y los iris parecen cambiar posiciones. Aunque sepamos que en un negativo los iris son claros y no oscuros, percibimos igualmente la ilusión.

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

PROMOCIONES

5 EJEMPLARES AL PRECIO DE 4

Ahorre un 20 %

5 ejemplares de *MENTE Y CEREBRO*
o 5 ejemplares de *TEMAS*
por el precio de 4 = 26,00 €

SELECCIONES TEMAS

Ahorre más del 30 %

Ponemos a su disposición grupos de 3 títulos de *TEMAS* seleccionados por materia.

3 ejemplares al precio de 2 = 13,00 €

❶ ASTRONOMÍA
Planetas, Estrellas y galaxias, Presente y futuro del cosmos

❷ BIOLOGÍA
Nueva genética, Virus y bacterias, Los recursos de las plantas

❸ COMPUTACION
Máquinas de cómputo, Semiconductores y superconductores, La información

❹ FÍSICA
Fronteras de la física, Universo cuántico, Fenómenos cuánticos

❺ CIENCIAS DE LA TIERRA
Volcanes, La superficie terrestre, Riesgos naturales

❻ GRANDES CIENTÍFICOS
Einstein, Newton, Darwin

❼ MEDICINA
El corazón, Epidemias, Defensas del organismo

❽ CIENCIAS AMBIENTALES
Cambio climático, Biodiversidad, El clima

❾ NEUROCIENCIAS
Inteligencia viva, Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente, El cerebro, hoy

❿ LUZ Y TÉCNICA
La ciencia de la luz, A través del microscopio, Física y aplicaciones del láser

TAPAS DE ENCUADERNACIÓN

DE *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*
ANUAL (2 tomos) = 10,00 €
más gastos de envío = 5,00 €

Si las tapas solicitadas, de años anteriores, se encontrasen agotadas remitiríamos, en su lugar, otras sin la impresión del año.

MENTE y CEREBRO

Precio por ejemplar: 6,50€

MyC 1: Conciencia y libre albedrío
MyC 2: Inteligencia y creatividad
MyC 3: Placer y amor
MyC 4: Esquizofrenia
MyC 5: Pensamiento y lenguaje
MyC 6: Origen del dolor
MyC 7: Varón o mujer: cuestión de simetría
MyC 8: Paradoja del samaritano
MyC 9: Niños hiperactivos
MyC 10: El efecto placebo
MyC 11: Creatividad
MyC 12: Neurología de la religión
MyC 13: Emociones musicales
MyC 14: Memoria autobiográfica
MyC 15: Aprendizaje con medios virtuales
MyC 16: Inteligencia emocional
MyC 17: Cuidados paliativos
MyC 18: Freud
MyC 19: Lenguaje corporal
MyC 20: Aprender a hablar
MyC 21: Pubertad
MyC 22: Las raíces de la violencia
MyC 23: El descubrimiento del otro
MyC 24: Psicología e inmigración
MyC 25: Pensamiento mágico
MyC 26: El cerebro adolescente
MyC 27: Psicograma del terror
MyC 28: Sibaritismo inteligente
MyC 29: Cerebro senescente
MyC 30: Toma de decisiones
MyC 31: Psicología de la gestación
MyC 32: Neuroética
MyC 33: Inapetencia sexual
MyC 34: Las emociones
MyC 35: La verdad sobre la mentira
MyC 36: Psicología de la risa
MyC 37: Alucinaciones
MyC 38: Neuroeconomía
MyC 39: Psicología del éxito
MyC 40: El poder de la cultura
MyC 41: Dormir para aprender
MyC 42: Marcapasos cerebrales
MyC 43: Deconstrucción de la memoria
MyC 44: Luces y sombras de la neurodidáctica
MyC 45: Biología de la religión
MyC 46: ¡A jugar!
MyC 47: Neurobiología de la lectura
MyC 48: Redes sociales
MyC 49: Presiones extremas
MyC 50: Trabajo y felicidad
MyC 51: La percepción del tiempo
MyC 52: Claves de la motivación
MyC 53: Neuropsicología urbana
MyC 54: Naturaleza y psique
MyC 55: Neuropsicología del yo
MyC 56: Psiquiatría personalizada

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN

Edición en rústica

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
012-3	El sistema solar	12 €
016-6	Tamaño y vida	14 €
025-5	La célula viva	32 €
038-7	Matemática y formas óptimas	21 €

Edición en tela

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
004-2	La diversidad humana	24 €
013-1	El sistema solar	24 €
015-8	Partículas subatómicas	24 €
017-4	Tamaño y vida	24 €
027-1	La célula viva (2 tomos)	48 €
031-X	Construcción del universo	24 €
039-5	Matemática y formas óptimas	24 €
046-8	Planeta azul, planeta verde	24 €
054-9	El legado de Einstein	24 €

TEMAS de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€

T-4: Máquinas de cómputo
T-6: La ciencia de la luz
T-7: La vida de las estrellas
T-8: Volcanes
T-9: Núcleos atómicos y radiactividad
T-12: La atmósfera
T-13: Presente y futuro de los transportes
T-14: Los recursos de las plantas
T-15: Sistemas solares
T-16: Calor y movimiento
T-17: Inteligencia viva
T-18: Epidemias
T-20: La superficie terrestre
T-21: Acústica musical
T-22: Trastornos mentales
T-23: Ideas del infinito
T-24: Agua
T-25: Las defensas del organismo
T-26: El clima
T-27: El color
T-29: A través del microscopio
T-30: Dinosaurios
T-31: Fenómenos cuánticos
T-32: La conducta de los primates
T-33: Presente y futuro del cosmos
T-34: Semiconductores y superconductores
T-35: Biodiversidad
T-36: La información
T-37: Civilizaciones antiguas
T-38: Nueva genética
T-39: Los cinco sentidos
T-40: Einstein
T-41: Ciencia medieval
T-42: El corazón
T-43: Fronteras de la física
T-44: Evolución humana
T-45: Cambio climático
T-46: Memoria y aprendizaje
T-47: Estrellas y galaxias
T-48: Virus y bacterias
T-49: Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente
T-50: Newton
T-53: Planetas
T-54: Darwin
T-55: Riesgos naturales
T-56: Instinto sexual
T-57: El cerebro, hoy
T-58: Galileo y su legado
T-59: ¿Qué es un gen?
T-60: Física y aplicaciones del láser
T-61: Conservación de la biodiversidad
T-62: Alzheimer
T-63: Universo cuántico
T-64: Lavoisier, la revolución química
T-65: Biología marina
T-66: La dieta humana: biología y cultura
T-67: Energía y sostenibilidad
T-68: La ciencia después de Alan Turing
T-69: La ciencia de la longevidad

Cuadernos MENTE y CEREBRO

Precio por ejemplar: 6,90€

Cuadernos 1: El cerebro
Cuadernos 2: Emociones
Cuadernos 3: Ilusiones

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€

GASTOS DE ENVÍO

(Añadir al importe del pedido)

	España	Otros países
1er ejemplar	2,00 €	4,00 €
Por cada ejemplar adicional	1,00 €	2,00 €

Para efectuar su pedido:

Teléfono: (34) 934 143 344

A través de nuestra Web:
www.investigacionyciencia.es

Las ofertas son válidas hasta agotar existencias.

Nuevo número de la colección TEMAS

A LA VENTA

La ciencia de la longevidad

EVOLUCIÓN
¿Por qué no vivimos eternamente?

BIOLOGÍA
Claves del envejecimiento celular

SALUD
Postergar las enfermedades de la vejez

PSICOLOGÍA
Senescencia y salud mental

También puede adquirirlo en

www.investigacionyciencia.es

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA